

Aus dem Institut für Veterinär-Hygiene
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Direktor: Prof. Dr. H. Hartwig

**Erfahrungen mit dem ANDERSEN-Sampler
bei der Untersuchung des Luftkeimgehaltes
eines Versuchstierstalles**

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Volkhard Hilbig
Tierarzt aus Waldenburg

Berlin 1972
Journal-Nr. 776

Aus dem Institut für Veterinär-Hygiene
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. H. Hartwig

Erfahrungen mit dem ANDERSEN-Sampler
bei der Untersuchung des Luftkeimgehaltes
eines Versuchstierstalles

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Volkhard Hilbig
Tierarzt aus Waldenburg

Berlin 1972
Journal-Nr. 776

Gedruckt mit Genehmigung
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Vorsitzender:	Prof. Dr. J. Boch
Referent:	Prof. Dr. H.G. Hilliger
Korreferent:	Prof. Dr. N. Retzlaff



Tag der Promotion: 14. 2. 1972

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite
I. Einleitung	5
II. Literatur	6
A. Die Struktur und das Verhalten des Aerosols	6
1. Zur Bezeichnung schwebefähiger Partikeln	6
2. Zur Entstehung und Vernichtung und zum Verhalten der Kerne	11
B. Die hygienische Bedeutung der Kerne	22
1. Beziehungen zwischen Keimkernen und Kernen	22
2. Zusammenhänge zwischen Kerngröße und Retention im Atmungstrakt	26
C. Die quantitative Erfassung von Keimkernen und keimhaltigen Kernen	29
1. Die Leistungsfähigkeit	30
2. Die Aussageart	31
3. Die methodische Charakteristik des ANDERSEN-Samplers	31
4. Untersuchungen mit dem ANDERSEN-Sampler	35
5. Vergleiche zwischen Slit-Sampler- und Waschverfahren	40
III. Eigene Untersuchungen	45
A. Methodik	46
1. Versuchsgeräte und ihre Handhabung	46
2. Bakteriologische Verarbeitung und Bewertung	52
3. Ergänzende Messungen	54
4. Aufbau und Betrieb der Geräteanordnung für Vor- und Hauptversuche	55
B. Ergebnisse der Vorversuche	60
1. Einfluß des Abstandes zwischen Nähragar-oberfläche und Unterseite der Lochplatte	60
2. Einfluß der Luftansauggeschwindigkeit	61
3. Einfluß des Ansaugvolumens	63

	Seite
4. Wirkung des kegelförmigen Deckels	67
5. Leistungsprüfung durch Membranfilter	67
C. Ergebnisse der Hauptversuche	68
1. Meßbedingungen	68
2. Nachgewiesene Kolonien/l Luft	71
3. Stufenverteilung im ANDERSEN-Sampler mit Deckel	74
4. Befundunterschiede mit und ohne Deckel	74
5. Abklatschversuche	75
IV. Besprechung	78
1. Vergleich der Ergebnisse des ANDERSEN-Samplers mit den Ergebnissen des Standard-Impingers	78
2. Methodische Begrenzung des aufgezeigten Vergleichs	82
3. Zur Größenverteilung keimhaltiger Kerne	87
4. Die Übertragbarkeit des Größenverteilungs- gesetzes von JUNGE auf Stallverhältnisse	92
5. Die Funktionstüchtigkeit und Leistungsfähig- keit des ANDERSEN-Samplers unter Stallbedin- gungen	97
V. Zusammenfassung	101
VI. Literaturverzeichnis	103

I. Einleitung

Die vorliegende Arbeit hatte zunächst zum Ziel, die Funktionstüchtigkeit und die Leistungsfähigkeit des ANDERSEN-Samplers in einem Versuchstierstall zu prüfen, um daraus Anhaltspunkte für seine Verwendbarkeit unter Stallverhältnissen zu gewinnen. Hierbei sollte durch Paralleluntersuchungen mit dem Standard-Impinger nach BRACHMAN und Mitarb., der als Waschverfahren betrieben wird, die Leistungsfähigkeit auch am Ergebnis des Standard-Impingers gemessen werden.

Für einen solchen Vergleich ist nicht zu umgehen, die Art der Aussage des ANDERSEN-Samplers und die Art der Aussage des Standard-Impingers zu analysieren. Im besonderen ist dabei zu erörtern, inwieweit das Ergebnis von Untersuchungsverfahren, die nach dem Trägheitsprinzip arbeiten, als Zahl keimhaltiger Partikeln und das Ergebnis von Waschverfahren als Ergebnis isolierter Luftkeime zu verstehen sei, wie es in der Literatur allgemein angenommen wird.

In diesem Zusammenhang ist auch von Interesse, ob erwartet werden kann, daß Luftkeime untereinander und mit anderen Partikeln in Verbindung stehen und ob solche in der Literatur beschriebenen Zusammenhänge mehr dem Zufall unterliegen als Gesetzmäßigkeiten. Eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Eignung der Meßverfahren ohne Berücksichtigung der aufgeworfenen Fragen nur anhand von vergleichenden Meßergebnissen erschien mir nicht unproblematisch. Für die Auseinandersetzung mit diesen Fragen werden die Arbeiten von JUNGE über die Konstitution des atmosphärischen Aerosols als besonders bedeutsam angesehen, so daß sich Literaturteil A in Gliederung und Ausführung wesentlich damit auseinandersetzt.

II. Literatur

A. Die Struktur und das Verhalten des Aerosols

1. Zur Bezeichnung schwebefähiger Partikeln

Unter einem Aerosol versteht man in Anlehnung an KLIWE und WASIELEWSKI 1952 ein kolloidales System, in dem ein Gas - hier atmosphärische Luft - als Dispersionsmittel eine Trägerfunktion für alle schwebefähigen Beimengungen - die disperse Phase - hat. Diese Beimengungen können unterschiedliche Herkunft und unterschiedlichen Aggregatzustand haben.

Feste Luftbeimengungen werden entweder als 'Teilchen' (KLIWE und WASIELEWSKI 1952, REIFFERSCHIED 1957, 1963), als 'Partikeln' (ANDERSEN 1958, MAY 1964, LIDWELL und NOBLE 1965) oder in recht großzügiger Begriffsauslegung auch als 'Aerosole' (NÜCKEL 1962 und REIFFERSCHIED 1957) bezeichnet. In der meteorologischen Aerosolforschung wird überwiegend die Bezeichnung 'Kerne' für schwebefähige feste oder flüssige Luftpartikeln benutzt. Diese Bezeichnung geht nach NIX 1969 auf Untersuchungen von AITKEN über die Verdunstung des Wassers zurück; es stellte sich dabei heraus, daß die flüssige Phase sich nicht gleichmäßig und kontinuierlich aus der dampfförmigen bildet, sondern daß dies nur durch die Anwesenheit winziger Fremdkörper, sogen. Kondensationskerne, möglich wird. In der meteorologischen Literatur wird für Kondensationskerne auch die Bezeichnung 'Keime' verwandt, die mit der hygienischen Bezeichnung für Bakterien nicht immer identisch ist (JUNGE 1952a, NIX 1969). Um eine Verwechslung zwischen Kondensationskernen als 'Keimen' einerseits, und den 'Keimen' als Bakterien andererseits zu vermeiden, werden in den folgenden Ausführungen unter 'Keimen' nur Bakterien verstanden.

Unter 'Staub' versteht man in Anlehnung an JUNGE 1952a und EFFENBERGER 1952 im Gegensatz zu den Kernen nur feste und

trockene Partikeln der Luft. Diese Bezeichnung wird bei Untersuchungen in Ställen in letzter Zeit benutzt von BUROW 1967, HILLIGER 1969, BUROW und HILLIGER 1969. Diese begriffliche Trennung ist jedoch nach JUNGE 1952 unberechtigt, da sie sich rein historisch aus der Verwendung verschiedener Meßmethoden ergab. Bis zur Entwicklung des Dust-counter nach OWENS und des Konimeters in den zwanziger Jahren habe man zur Erforschung des Aerosols nur den von AITKEN entwickelten Kernzähler besessen, der auf dem Prinzip der WILSONschen Nebelkammer beruht. Aufgrund der Theorie der damaligen Zeit habe man angenommen, daß Kondensationskerne feine Tröpfchen aus Salzlösungen darstellten, die sich mit der umgebenden Luft im Dampfdruckgleichgewicht befänden. Im Gegensatz zu diesen Kernen seien die mit dem Konimeter erfaßten groben Luftverunreinigungen als 'Staub', d.h. als feste Teilchen erschienen und daher als ein von den Kernen wesensverschiedener Bestandteil des Aerosols angesehen worden.

ISRAËL^{II} und DOLEZALEK 1957 nennen die Unterscheidung zwischen Kernen und Staub eine willkürliche Absetzung. JUNGE 1952 vertritt die Auffassung, daß diese Einteilung an der Natur der Teilchen völlig vorbeigehe, da es sich als ziemlich sicher ergeben habe, daß über den ganzen vorhandenen Größenbereich hinweg alle Teilchen Mischkerne darstellten und damit in allen Größenbereichen wesensgleich seien (FLACH 1957). Da überdies oberhalb 70% rel. Feuchte bei den großen Kernen praktisch alle Teilchen als Tröpfchen vorlägen oder zumindest von einer Wasserhülle umgeben sein müßten, stellten die mit dem Konimeter erfaßten Staubteilchen nichts anderes dar als feste Rückstände aus Mischkernen.

Nach JUNGE 1952a und b erstreckt sich der Größenbereich der Kerne durchschnittlich vom Radius $r=8 \times 10^{-8}$ cm bis $r=1 \times 10^{-3}$ cm (s. Abb. 1). Unterhalb der Größe $r=8 \times 10^{-8}$ cm liegen nur Komplexe vor, die aus ca. 6-30 Molekülen

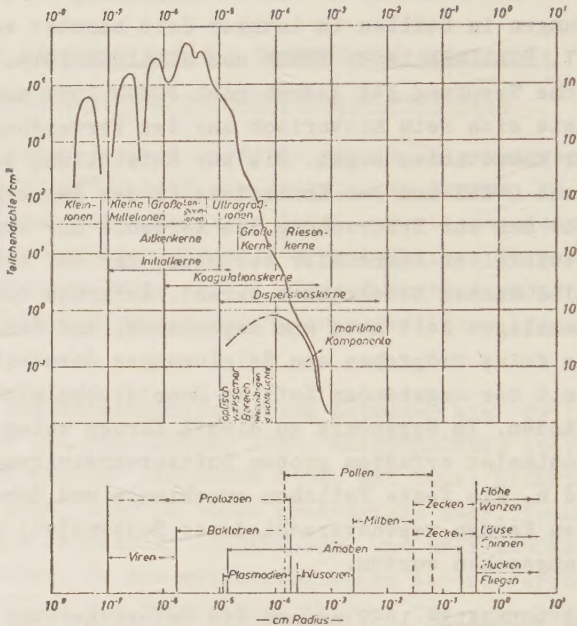


Abb. 1. Die Größenverteilung der atmosphärischen Kondensationskerne und Ionen nach JUNGE 1952a im Vergleich mit der Mikroorganismenwelt nach REIFFERSCHIED 1952 (entnommen aus FLACH 1957)

2-3 atomiger Gase bestehen, durch eine elektrische Elementarladung zusammengehalten werden und deshalb 'Kleinionen' genannt werden. Tragen größere Kerne eine Elementarladung, werden sie im Gegensatz dazu als 'Großionen' oder 'Riesenionen' bezeichnet. Kerne vom Radius $r=10^{-7}$ cm bis $r=2 \times 10^{-5}$ cm werden mit dem Kernzähler nach AITKEN erfaßt und deshalb als Aitkenkerne bezeichnet. Kerne oberhalb der Sichtbarkeitsgrenze von ca. $r=2 \times 10^{-5}$ cm werden in 'große Kerne' und 'Riesenkerne' unterteilt und mit Staubzählgeräten (z.B. Konimeter) erfaßt. 'Riesenkerne' liegen in der Größenordnung von feinen Regentropfen vor, 'große Kerne' in der Größenordnung von Staub.

JUNGE 1952b macht in Beziehung zum Größenbereich für die Bezeichnung der Kerne folgenden Vorschlag:

Größenbereich:	$r \leq 0,2 \mu\text{m}$	$0,2 \leq r \leq 1,0 \mu\text{m}$	$1,0 \mu\text{m} \approx r$
Vorgeschlagene Bezeichnung:	Aitkenkerne	große Kerne	Riesenkerne
Bemerkungen:	Umfaßt alle Bereiche der Großionen nach ISRAEL und gleichzeitig den Meßbereich des Kernzählers.	Bisher fälschlich als Staub bezeichnet. Im wesentlichen der Meßbereich des Konimeters.	Zeigt Besonderheiten der Zusammensetzung je nach den geographischen Bedingungen. Meer: Salzteilchen; Steppe: Staubteilchen; Kontinent: Mischkerne.

Aufgrund der später zu behandelnden Eigenschaften der Kerne (Kondensation und Koagulation), aufgrund ihrer Wesensgleichheit (Mischkerne) und wegen ihres Größenwachstums mit steigender rel. Feuchte zu Tröpfchen umschreibt die Bezeichnung 'Staub', die für trockene und feste Partikeln üblich ist, nur eine begrenzte Zahl auch der in Stalluft stattfindenden Kombinationsmöglichkeiten zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen. Mir erscheint daher die Bezeichnung 'Kerne' auch für alle schwebefähigen Partikeln der

Stallluft - besonders auch im Hinblick auf die in Ställen gemessenen hohen Werte für rel. Feuchte (z.B. BUROW und HILLIGER 1969, KNOCHE 1971) - für sinnvoll und gerechtfertigt. Im folgenden wird daher für alle schwebefähigen Partikeln der Stallluft bevorzugt die Bezeichnung 'Kerne' verwandt.

Die Bakterien der Luft werden als 'Bakterien' (HILLIGER 1969), als 'Luftkeime' (ALBRECHT 1957) und u.a. als Mikroorganismen oder als 'organoide' Luftbeimengungen (REIFFERSCHEID 1957 und 1963) bezeichnet. ANDERSEN 1958 nennt die isolierten Luftkeime 'viable cells' im Gegensatz zu ihrer Verbindung mit anderen Luftpartikeln, die er mit 'viable particles' umschreibt. MAY 1964 spricht dagegen von 'actual airborne particles', wenn er keimhaltige Partikeln meint. ALBRECHT 1957 verwendet wiederum den Begriff 'keimtragende Partikeln'. Im Gegensatz hierzu versteht JACOBSEN 1968 unter 'viable particles' Pollen, Mikroorganismen und Insekten. WELLS 1955 verwendet die Bezeichnung 'droplet' und versteht hierunter die Tatsache, daß sich Mikroorganismen in bzw. an Tröpfchen befinden können. Nach Verdunstung der Flüssigkeit stellten sie dann ein 'droplet nuclei' dar, was KANZ 1967 als 'Tröpfchenkern' übersetzt.

Unter Berücksichtigung der in der Literatur vorherrschenden Meinung, daß einerseits Kerne überwiegend Mischkerne darstellen (JUNGE) und damit als ein Gemisch von hygroskopischen, schwer löslichen und unlöslichen Stoffen anzusehen sind (FLACH 1957), andererseits Luftkeime überwiegend mit anderen Kernen und Flüssigkeiten in Verbindung stehen (ALBRECHT 1955, KANZ 1967, PETRAS 1967), erscheint die Bezeichnung 'Luftkeime' nicht als bestmögliche; dies um so weniger, als für 'Keime' verschiedene Sinndeutungen in der Literatur zu finden sind.

Die von WELLS 1955 benutzten Begriffe 'droplet' und 'droplet nuclei' für Keime in Verbindung mit Wasser oder als

Tröpfchenrückstände sind insofern zu eng gefaßt, als nach JUNGE 1952a bei hohen rel. Feuchten alle Kerne als Tröpfchen vorliegen und deshalb die meisten der im Konimeter erfaßten 'Staubteilchen' als unlösliche Rückstände von Tröpfchen aufzufassen sind. Die von ALBRECHT 1957 verwendete Bezeichnung 'keimtragende Partikeln' beinhaltet dagegen nur die Anlagerung von Keimen an große Kerne und Riesenkerne und berücksichtigt nicht andere Kombinationsmöglichkeiten mit festen und flüssigen Stoffen. Die von ANDERSEN 1958 benutzte Bezeichnung 'viable particles', die mit 'lebensfähige Partikeln' übersetzt werden kann, erscheint mir insofern problematisch, als ja nicht damit gemeint sein soll, daß die Partikeln lebensfähig seien, sondern nur die in oder an Partikeln befindlichen Keime.

Folgt man dem Vorschlag von JUNGE 1952a und b, alle schwebefähigen Partikeln der Luft als 'Kerne' zu bezeichnen, so erscheint es dem Verfasser zweckmäßig, für die Verbindung von Mikroorganismen mit Kernen die Bezeichnung 'keimhaltige Kerne' vorzuschlagen. Eine solche Bezeichnung umfaßt dann sowohl die Verbindung der Mikroorganismen mit Wasser als auch mit festen Bestandteilen und begrenzt auch nicht die Anzahl der Mikroorganismen pro Kern. Im Unterschied zu den keimhaltigen Kernen als echten Mischkernen könnten isolierte Bakterien als 'Keimkerne' bezeichnet werden. Diese Bezeichnung drückte dann auch den Unterschied zu den übrigen Kernen aus, die keine Keime sind.

2. Zur Entstehung und Vernichtung und zum Verhalten der Kerne

Unter **K o a g u l a t i o n** versteht man einen Vorgang, der im Zusammenstoßen und anschließenden Zusammenfließen flüssiger Kerne besteht (REIFFERSCHIED 1957). Diesen Vorgang nennt FLACH 1957 'Agglomeration' und das Vereinigungsprodukt 'Agglomerat'. Die Agglomeration unterteilt er in eine thermodynamisch und eine elektrisch

bedingte, wobei er die elektrisch bedingte 'Koagulation' nennt. Eine Vereinigung fester Teilchen bezeichnet man dagegen als 'Aggregation' und das Vereinigungsprodukt als 'Aggregat' (FLACH 1957, GEORGII 1970). Dieser Vorgang wird auch 'Anlagerung' genannt (JUNGE 1952, GEORGII 1970).

Im medizinischen Sprachgebrauch wird unter 'Agglomeration' eine Zusammenballung von Erythrocyten, Zellen und Bakterien verstanden. Eine 'Koagulation' ist dagegen der Übergang kolloid verteilter Stoffe aus dem Sol- in den Gelzustand (Ausflockung) unter dem Einfluß von Wärme, Elektrolyten oder Fermenten (ZETKIN und Mitarb. 1964, PSCHYREMBEL 1964). In den folgenden Ausführungen wird unter 'Koagulation' die Vereinigung flüssiger Kerne verstanden.

Besonders durch die Untersuchungen von JUNGE 1952 kann als erwiesen gelten, daß die in der Luft vorhandenen Kerne nicht statisch gesehen werden dürfen, sondern sich im ständigen Wandel befinden. JUNGE umschreibt diesen ständigen Wandel als 'Entstehung und Vernichtung', ein Ausdruck, der trotz einiger möglicher Einwände in die Abschnittsüberschrift und bei der Behandlung dieser Fragen übernommen wurde.

Aufgrund seiner Beobachtungen des künstlichen und natürlichen Aerosols muß nach JUNGE 1952 ein Vorgang bestehen, der stets und ununterbrochen in dem Sinne wirke, die vorhandene Anzahl der Kerne zu reduzieren. Ein solcher Vorgang sei die Koagulation. Es herrsche dergestalt ein stationärer Zustand, daß durch Koagulation der Zustrom an Initialkernen gerade verbraucht werde und die gleiche Substanzmenge im Schwerfeld ausfalle. Einem solchen dynamischen Gleichgewicht müsse erwartungsgemäß eine ganz bestimmte Größenverteilung entsprechen, die durch ein Koagulationsgesetz und den Zustrom von Initialkernen bedingt sei.

JUNGE 1952 stellte aufgrund seiner Beobachtungen, Versuche

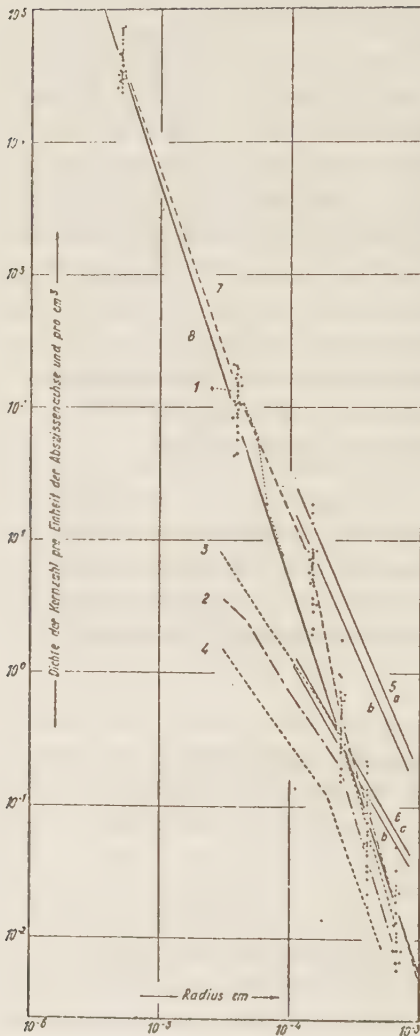
und Berechnungen ein Größenverteilungsgesetz der Kerne auf (s. Abb. 2). Es besagt, daß für Kerne oberhalb 10^{-6} cm ein gleichmäßiger Abfall der Konzentration nach größeren Partikeln hin stattfindet, der proportional der 3. Potenz des Radius verläuft. Dies bedeutet, daß die relativ wenigen großen Kerne den gleichen Massenanteil auf sich vereinigen wie die zahlreicheren kleineren. Daraus läßt sich ableiten, daß innerhalb des Gültigkeitsbereichs dieser Beziehungen die Substanzmenge pro Radienintervall konstant ist.

Nach JUNGE gibt dieses Größenverteilungsgesetz den Schlüssel für die Lösung vieler Fragen. Aus den Versuchsergebnissen könne auch gefolgert werden, daß das Verteilungsgesetz allgemeingültigen Charakter haben müsse.

Die Auffindung des Größenverteilungsgesetzes durch JUNGE bedeutete nach GEORGII 1970 einen großen Fortschritt und sei aufgrund neuerer Messungen für das kontinentale Aerosol im wesentlichen als gesichert anzusehen. WEICKMANN 1952 bezeichnet die Untersuchungen von JUNGE als außerordentlich bedeutungsvoll.

Dieses Größenverteilungsgesetz der Kerne steht in Übereinstimmung zum Größenverteilungsgesetz der Luftionen, das ebenfalls einen Gleichgewichtszustand zwischen Ionenerzeugung und Ionenvernichtung beschreibt (ISRAËL und DOLEZALEK 1957).

Wenn dieses dynamische Gleichgewicht zwischen Kernentstehung und Kernvernichtung nach JUNGE auch in geschlossenen Räumen Gültigkeit hat, so erscheint seine Übertragung auf Tierstallungen als möglich. Deshalb soll auf die Faktoren, die in diesem Gesetz wirksam sind, auch im Hinblick auf die zu besprechenden Verfahren zur Bestimmung keimhaltiger Kerne und ihre Aussageart näher eingegangen werden. Die folgenden Ausführungen stützen sich dabei wesentlich auf die Forschungsergebnisse von JUNGE 1952,



1. Mittelwerte aus 16 Messungen von DESSENS,
2. Mittelwerte aus 7 Messungen maritimer Aerosole bei den Bermudas nach WOODCOCK im Höhenbereich von 25 bis 1200m,
3. und 4. Grenzen, zwischen denen sich die Einzelwerte von WOODCOCK in den verschiedenen Höhen halten,
5. und 6. Messungen NEUMANNs auf Sylt am Strand und 9km landeinwärts, a bei See-gang 3-5, b bei 0-2,
7. Mittelkurve aus 25 Messungen von JUNGE,
8. Potenzverteilungsgesetz

$$dn/d\log r = c_1/r^3$$

Abb. 2. Zusammenstellung von Größenverteilungsmessungen natürlicher Aerosole und Darstellung des Potenzverteilungsgesetzes (entnommen aus JUNGE 1952b)

da spätere Publikationen (FLACH 1957, REIFFERSCHIED 1957, LUDIAM 1967, GEORGII 1970, PAPETTI und GILMORE 1971) ihre Richtigkeit bestätigen.

a) Die Prozesse der Kernentstehung

Ein wichtiger Wirkungsmechanismus bei der Bildung von Kernen sind **K o n d e n s a t i o n** und **S u b l i m a t i o n**. Sie sind nach JUNGE als ein Vorgang zu verstehen, bei dem allgemein Stoffe aus dem molekulardispersen, gasförmigen Zustand zur neuen, flüssigen oder festen, Phase übertreten (Kondensationskerne).

Als Beispiele der Kernbildung sind Rauche und trockene Nebel zu nennen. Die in Flamm- und Verbrennungsgasen entstehenden zunächst molekulardispersen Stoffe werden bei Abkühlung in starkem Maße übersättigt; es bilden sich dann je nach Stoffeigenschaften Tröpfchen oder feste Teilchen. Bei der Vielfalt der in Industriegegenden wirksamen Verbrennungsprozesse ist mit einem reichhaltigen Gemisch der beteiligten Stoffe zu rechnen. Da schon die Abgase eines einzigen Verbrennungsprozesses sehr heterogen zusammengesetzt sind, ist kaum mit der Kondensation einer reinen Substanz zu rechnen. Es werden vielmehr mehrere Stoffe an der Bildung eines Teilchens beteiligt sein (Mischkondensation), wenn auch nur in der Form mehr oder minder starker Verunreinigung einer vorherrschenden Substanz: es bilden sich Mischkerne, wobei der Mischungsprozeß in der anschließend einsetzenden Koagulation fortgesetzt wird.

Die **S u b l i m a t i o n** wird wirksam, wenn die auftretenden Stoffe das Produkt von Gasreaktionen sind. Bei den in der Luft beigemengten Spurengasen ist mit Reaktionen z.B. von O_3 mit Stickoxiden bzw. SO_2 unter Bildung von HNO_3 bzw. H_2SO_4 und weiter mit einer Reaktion von Ammoniak mit HCl und anderen Säuren zu rechnen.

Bei Neigung vieler Stoffe, in molekularer Form Wasser anzulagern, ist es wahrscheinlich, daß gleichzeitig mit der Kondensation und Koagulation zusammen mit den eigentlichen kernbildenden Substanzen Wasser gebunden wird, so daß Mischkerne neben oberflächlich adsorbiertem auch absorbiertes Wasser enthalten können.

Der zweite, umgekehrt wirksame Bildungsvorgang der Kerne ist nach JUNGE die Zerteilung von Materie an der Erdoberfläche, die D i s p e r s i o n genannt wird (Dispersionskerne). Hierher gehört auch die Aufwirbelung feinsten Staubes. Über den Meeren ist das Zersprühen der Gischt der analoge Vorgang. Über besiedelten Gebieten überwiegen jedoch Initial- und Koagulationskerne unter normalen Verhältnissen.

b) Die Prozesse der Kernvernichtung

Den Prozessen der Kernentstehung stehen die Kerndiffusion, die Sedimentation und die Koagulation als kernvernichtende Prozesse gegenüber. Nach REIFFERSCHIED 1957 ist auch die Verdampfung u.a. ein wichtiger kernreduzierender Vorgang. Entsprechend der für künstliche Aerosole festgestellten Voraussetzung, daß jeder Berührung von Teilchen auch eine Vereinigung folge, spielt nach JUNGE bei all den genannten Prozessen die Beweglichkeit der Teilchen eine wichtige Rolle. Sie ist unter anderem abhängig von der mittleren freien Weglänge der Luftmoleküle, vom Radius der Kerne und von der Zähigkeit der Luft. Die mittlere freie Weglänge ist umgekehrt proportional zum Luftdruck, so daß die Beweglichkeit der Luftmoleküle mit abnehmendem Druck zunimmt. Mit Hilfe der Beweglichkeit ist die Fallgeschwindigkeit, der Diffusionskoeffizient und die Koagulationsgeschwindigkeit für Aerosole und Hydrosole berechenbar.

Die D i f f u s i o n ist für die Anlagerung der Kerne an feste Flächen verantwortlich. Dabei ist die Diffusion

wesentlich abhängig vom Luftdruck und dem Radius der Kerne. In Laboruntersuchungen konnte JUNGE den Nachweis führen, daß die Halbwertszeiten für die Anlagerung von Kernen an Wände für Kerne mit einem Radius von 10^{-4} cm etwa 25 Stunden, für Kerne mit einem Radius von 10^{-7} cm dagegen nur 1,5 Sekunden betragen. Diese Unterschiede sind auf die höhere Diffusionsgeschwindigkeit der kleinen Kerne zurückzuführen. Durch Laboruntersuchungen konnte JUNGE die Veränderung der Kernzahl durch Veränderung von Luftdruck einerseits und von der rel. Feuchte andererseits nachweisen und eine entsprechende theoretische Berechnungsmöglichkeit entwickeln. Bei rel. Feuchten über 60% war eine Zunahme der Kernzahl zu beobachten, die der durch das Anwachsen der Kerne verminderten Diffusion entsprach.

Die von JUNGE berechnete Koagulationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Kernzahl und Kerngröße der Kerne stellt eine Anwendung der Untersuchungen von WHITTLAW-GRAY 1932 an künstlichen Aerosolen auf das natürliche Aerosol dar. Bei Kernzahlen von $10^5/\text{cm}^3$ und Kernradien von 5×10^{-6} cm sinkt danach die Kernzahl infolge der Koagulationsvorgänge etwa in 5 Stunden auf die Hälfte. Diese Verhältnisse entsprechen der Großstadtluft. Bei Teilchen oberhalb $r = 1 \times 10^{-5}$ cm, die im wesentlichen mit Staubzählern erfaßt werden und deren Zahl in der Atmosphäre in der Größenordnung von 100-1000 pro cm^3 liegt, kommt man auf Halbwertszeiten von über 1 Monat. Große Kerne stellen also ein außerordentlich stabiles Aerosol dar; dies gilt allerdings nur für ein homogenes Aerosol.

Bei unterschiedlicher Kerngröße und gleicher Kernzahl erfolgt fast durchweg die Koagulation zwischen ungleich großen Teilchen schneller als zwischen gleichgroßen. Beim Vorliegen von Kernen um 5×10^{-7} cm Radius ist die Anlagerung der kleinen an die großen Kerne rund 5 mal so rasch wie die Eigenkoagulation der kleinen Kerne. Das

Bestreben der kleinen Kerne, rasch zu koagulieren, wird also durch die Anwesenheit großer Teilchen noch verstärkt. Daher ist zu erwarten, daß die Anlagerung eines kleinen Teilchens an große wesentlich häufiger erfolgt als die Vereinigung mit einem gleichgroßen. Diese Zusammenhänge werden in der Literatur z.T. durch eigene Beobachtungen bestätigt von FLACH 1957, REIFFERSCHIED 1957, GEORGII 1970, PAPETTI und GILMORE 1971.

Die Befunde von JUNGE lassen sich wie folgt zusammenfassen: infolge Kondensation, Sublimation und Dispersion entstehen laufend Kerne, die durch Koagulation anwachsen oder sich an schon vorhandene Teilchen anlagern; d.h. das Größenspektrum verschiebt sich ständig zu größeren Radien. Demgegenüber steht ein Kernverlust durch Diffusion der Kerne an Decke und Wände in geschlossenen Räumen und durch Ausfall im Schwerfeld. In der Größenverteilung stellt sich also in gewissem Sinne ein dynamisches Gleichgewicht ein. Bei der stets zu beobachtenden Änderung der diese Vorgänge beeinflussenden Komponenten, wie z.B. Luftdruck, Temperatur, rel. Feuchte und Windgeschwindigkeit, sei es bei der Kompliziertheit des Geschehens nach JUNGE allerdings verständlich, daß dieses Gleichgewicht sehr labil ist. Deshalb ließen statistische Aussagen über das Verhalten der Kerne außerhalb von Laborbedingungen fast auch nie eindeutige Aussagen zu oder täuschten sogar falsche Ergebnisse vor.

c) Der Mischkerncharakter der Kerne

Bei einer kritischen Untersuchung der Konimetermethode entwickelte JUNGE 1952a ein Verfahren, mit dem er Veränderungen in der Konstitution der Kerne in Abhängigkeit von der rel. Feuchte feststellen konnte. Dieses Verfahren, das als Grundlage die unterschiedliche Abscheideleistung von flüssigen und festen Kernen auf Vaseline

und Zaponlack im Konimeter hat, gestattete es JUNGE, für reine und Mischstoffe (u.a. für Ca, NaCl, CaSO_4) Wachstumskurven zu vermessen. Dabei war der absolute Betrag des Anwachsens gegeben durch:

$$\text{Wachstum} = W = \frac{\text{Radius bei 95\% rel. Feuchte}}{\text{Radius bei 40\% rel. Feuchte}}$$

Diese Wachstumskurven sind in Abb. 3 dargestellt.

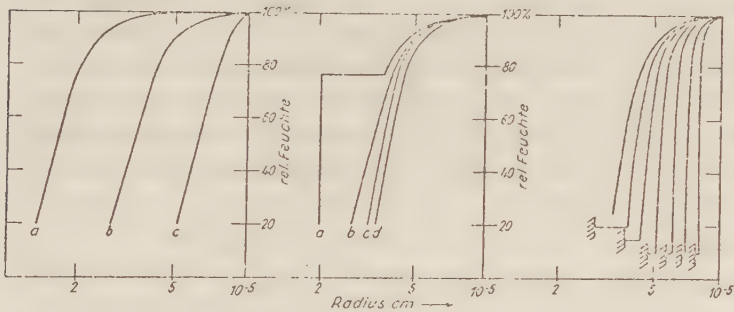


Abb. 3.

links: Wachstumskurven von HNO_3 bei verschiedenen potentiellen Radien (10°C)

Potentieller Radius bei: a = 10^{-4}cm , b = 10^{-5}cm , c = 10^{-6}cm

Mitte: Wachstumskurven verschiedener Substanzen bei einem pot. Radius von 10^{-5}cm

a: NaCl 10°C , b: HNO_3 10°C , c: CaCl_2 25°C , d: H_2SO_4 10°C

rechts: Wachstumskurven von Mischkernen mit unlöslichem Kern bei einem potentiellen Radius von 10^{-5}cm für H_2SO_4 . Die Größe des festen Radius ist an den Kurven vermerkt.

(entnommen aus JUNGE 1952a)

Bei Anwendung des Verfahrens auf die großen Kerne im natürlichen Aerosol entsprachen deren Wachstumskurven (s. Abb. 3) denen von Mischkernen. Bei Bestimmung der unlöslichen Rückstände, die bei etwa 40% der Kerne gefunden wurden, konnte ihr Mischkerncharakter bestätigt werden. JUNGE konnte mit dieser Methode auch zeigen, daß die großen Kerne und Riesenkerne des natürlichen Aerosols mit wachsender rel. Feuchte langsam vom festen in den tröpfchenartigen Zustand übergehen und ein merkliches Wachstum erst oberhalb 70% rel. Feuchte einsetzt. Diese Befunde konnte JUNGE 1952 für Riesenkerne des natürlichen Aerosols auch durch Versuche nach der Spinnenfadenmethode von DESSENS und durch elektronenmikroskopische Untersuchungen bestätigen. Der Mischkerncharakter der Kerne des natürlichen Aerosols konnte dabei sowohl durch ihr Aussehen, durch die Form der Wachstumskurve sowie auch durch den absoluten Betrag ihres Anwachsens bewiesen werden.

d) Bindekräfte zwischen Teilchen

Entsprechend dem in der meteorologischen Aerosolforschung gestellten und für künstliche Kerne experimentell bewiesenen Postulat, daß in der Luft jeder Berührung der Teilchen auch eine Vereinigung folge, und wegen des von JUNGE nachgewiesenen Mischkerncharakters des Aerosols kann angenommen werden, daß die meisten Kerne aus mehreren Teilchen verschiedenster Herkunft bestehen. Daß eine Übertragung auf relativ kernreiche Räume möglich erscheint, bestätigt PIETSCH 1967 dahingehend, daß eine Agglomerationstendenz mit größer werdender Staubkonzentration wegen der steigenden Stoßwahrscheinlichkeit zunehmen müsse.

Damit nun Agglomerate bzw. Kerne entstehen können, müssen zwischen den einzelnen Teilchen Bindekräfte wirksam werden. Nach PIETSCH 1967 kommen als Bindemechanismen zwischen Teilchen u.a. folgende Kräfte in Betracht:

1. Bindungen durch chemische Reaktionen
2. Bindungen durch Kristallisation gelöster Stoffe
3. Bindungen durch Adsorption
4. Bindungen durch Anziehung zwischen Feststoffteilchen durch Molekularkräfte, durch magnetische Kräfte und durch elektrische Kräfte. Nach PIETSCH besteht bei allen Stoffarten bei Berührung eine Neigung zum Übertritt von Elektronen und damit zur Aufladung des Partners über elektrische Doppelschichten. Obwohl die Festigkeit größerer Agglomerate nicht auf elektrostatische Aufladungen zurückgeführt werden könne, spielten elektrische Ladungen jedoch eine große Rolle bei der Entstehung von Agglomeraten. Besonders in Feldern, die um Größenordnungen größer seien als das Eigenfeld der Teilchen, werde Bewegung und Haftung elektrisch geladener Partikeln stark beeinflusst.
5. Bindungen durch Grenzflächenkräfte und Kapillardruck an frei beweglichen Flüssigkeitsoberflächen (kapilläre Haftkräfte)
 - a) Kapillarkräfte (s. Abb. 4) beim 'Brückenmodell' A und bei 'flüssigkeitserfüllten Agglomeraten' C. B stellt einen Zwischenbereich dar.
 - b) Oberflächenspannung. Sobald eine Flüssigkeit die Teilchen vollkommen umhüllt, verschwinden sämtliche Kapillarkräfte zwischen den Teilchen. Diese werden dann im Tropfen durch dessen Oberflächenspannung zusammengehalten (Abb. 4 D).

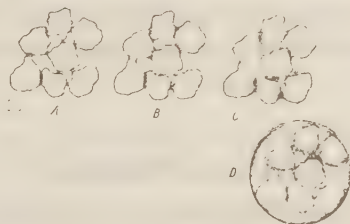


Abb. 4. Die in Kornschüttungen möglichen Flüssigkeitsverteilungen
(entnommen aus PIETSCH 1967)

Versuche von KLIWE und WASIELEWSKI 1952 von Keimmessungen im elektrischen Feld deuten darauf hin, daß Keimnebel überwiegend negativ elektrisch geladen sind (GUNDERMANN 1969). Eine elektrische Ladung aber begünstigt nach PIETSCH die Entstehung von Agglomeraten. Die Vorstellung von WELLS 1955, daß Keime überwiegend in Tröpfchenform 'droplets' vorlägen, steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von JUNGE 1952, die darlegen, daß bei hohen rel. Feuchten fast alle Teilchen in Tröpfchenform vorliegen oder zumindest von einer Wasserhülle umgeben sind. REIFFERSCHIED 1957 und PIETSCH 1967 weisen darauf hin, daß Tröpfchen ein besonders starkes Vereinigungsbestreben hätten. Besonders im elektrostatischen Feld würden wegen des Dipolcharakters des Wassers starke Dipole in den Tropfen erzeugt, die eine Zusammenlagerung begünstigten. Die Kräfte seien dabei so groß, daß die Tropfen dabei deformiert würden.

Aus den besonders von JUNGE ermittelten Zusammenhängen bei der Kernentstehung kann angenommen werden, daß viele Keime bereits als keimhaltige Kerne in die Luft gelangen. Aufgrund der hohen Stoßwahrscheinlichkeit in kernreichen Räumen (PIETSCH) und wegen der mannigfaltigen Bindungsmechanismen, die zwischen zusammengestoßenen Teilchen wirksam werden können, kann vermutet werden, daß auch in Tierstallungen als besonders kern- und keimreichen Räumen (vgl. hierzu BUROW 1967, KEMPMANN 1970, KNOCH 1971) die Bakterien schon als keimhaltige Kerne in die Luft gelangen und/ oder dort an dem Vereinigungsbestreben der Teilchen mitwirken. Es wäre zu begrüßen, wenn diese Vermutung durch experimentelle Befunde auf feste Grundlagen gestellt werden könnte.

B. Die hygienische Bedeutung der Kerne

1. Beziehungen zwischen Keimkernen und Kernen

Zusammenhänge zwischen Luftkeimen und Kernen ergeben sich

aus der Modalität, wie Keime in die Luft gelangen (KANZ 1967, WANNER 1969) und aus ihrem Verhalten zu den übrigen Kernen (REIFFERSCHIED 1963).

Die Modalität, wie Keime in die Luft gelangen, steht in Abhängigkeit zu den bakteriellen Verunreinigungsquellen (WANNER 1969). REIFFERSCHIED 1963 unterscheidet natürliche und künstliche Quellgebiete. Als natürliche Quellgebiete nennt er u.a. Erde und Wasser und als künstliche in erster Linie Haushaltungen, Versammlungsräume und Tierstallungen. Die bedeutendsten Streuquellen in einem Raum sind nach WANNER 1969 die sich darin aufhaltenden Personen. Bereits ohne irgendwelche Tätigkeiten auszuüben, gebe der Mensch kontinuierlich zahlreiche Keime ab; diese haften an Hautfetzen und könnten leicht die Kleider durchdringen. Die Keimausstreuungen seien überdies von der Art der Bekleidung und von der Beschaffenheit der Stoffe abhängig.

Nach KANZ 1967 gibt es zur Frage, wie Keime in die Luft gelangen, prinzipiell zwei Möglichkeiten: durch den Auswurf keimhaltiger Tröpfchen, wie sie beim Sprechen, Husten und Niesen entstünden. Dabei gelangten die Tröpfchen in den Raum, würden durch Verdunstung der Flüssigkeit zu 'droplet nuclei' (Tröpfchenkerne) und sanken langsam zu Boden (WELLS 1955). Durch Turbulenz würden sie dann wieder aufgewirbelt. Sie könnten aber auch durch Antrocknung an Staub den zweiten Weg der aerogenen Keimverbreitung einschlagen und als Staubkeime erneut in die Luft gelangen. Das Auftreten der Luftkeime sei mit wenigen Ausnahmen an 'Staub als Bakterienträger' gebunden. Das Luftkeimproblem sei also im wesentlichen ein Staubproblem.

Dieser Zusammenhang zwischen Staub und Bakterien der Luft wird in der Literatur allgemein geteilt, obwohl die experimentellen Grundlagen für diese Meinung sehr dürftig sind. Nach ALBRECHT 1955 können die Luftbakterien infolge ihres geringen Gewichtes als Einzelkeime oder zu mehreren

zusammenliegend sich über längere Zeit schwebend halten. Häufig seien sie allein oder zu mehreren von andersartigen flüssigen oder festen Substanzen umhüllt oder an solche angelagert.

Auch nach UHLIG 1953/54 haftet der größte Teil der Mikroorganismen der Luft an Staubpartikeln, ein weiterer Teil werde von Flüssigkeitströpfchen aufgenommen und nur ein kleiner Anteil komme in freiem Zustand in der Atmosphäre vor. REIFFERSCHIED 1963 ist in Übereinstimmung mit WELLS 1955 der Ansicht, daß sowohl pathogene als auch harmlose Keime beim Husten und Niesen mit feinsten Wassertröpfchen aus den oberen Luftwegen ausgestoßen würden. In der Zimmerluft trockneten sie schnell ab und blieben in der Luft schwebefähig. Dabei lagerten sie sich meist anderen Schwebeteilchen an. Dies gelte für alle Kerne mit einem Durchmesser kleiner als 1μ m. Die größeren lagerten sich zwar ab, würden aber immer wieder aufgewirbelt und könnten dann durch die Atmung in den Bronchialtrakt gelangen.

Das Vorhandensein von keimhaltigen Kernen in der Luft von Krankenzimmern und einem Versuchstierstall bestätigen Arbeiten von LIDWELL und Mitarb. 1959 und PETRAS 1967. LIDWELL und Mitarb. entwickelten durch Zugabe chemischer Desinfizienzien wechselnder Dosierung zu Keimsuspensionen mit bekannter Keimzahl ein Verfahren, das ihnen ermöglichte, eine Beziehung zwischen abgetöteten Keimen in Abhängigkeit zur Menge der zugegebenen Desinfizienslösung herzustellen, die sie Tötungskurve nennen. Anstelle chemischer Desinfizienszusätze konnten sie diese Beziehungen auch bei Verwendung energiereicher Strahlen wechselnder Dosierung herstellen. Bei Übertragung dieses Verfahrens auf im Absetzverfahren sedimentierte keimhaltige Kerne glaubten sie, in Abhängigkeit von der Strahlendosis Rückschlüsse auf die Anzahl von Keimen pro Partikel ziehen zu können. In der Luft von Krankenzimmern stellten sie auf diese Weise etwa 4 bis höchstens 10 Keime pro Partikel fest.

PETRAS konnte bei fluoreszenzmikroskopischen Untersuchungen von Luftpartikeln eines Versuchstierstalles feststellen, daß eine kleinere oder größere Zahl aneinander oder an Staubteilchen haftender Mikroorganismen oftmals in einer einzigen Aerosolpartikel enthalten ist. Pro Partikel konnte er zwischen 20 und 50 Bakterien auszählen. PETRAS räumt aber ein, daß seine Methode keinen Hinweis auf die Vermehrungsfähigkeit solcher Keime gibt.

Auf dem Gebiete der Tierhygiene beschäftigen sich u.a. mit dem Staubgehalt der Stallluft PECHERT 1957 und BUROW 1967. Über die Beziehungen zwischen Staub- und Bakteriengehalt der Stallluft liegen Arbeiten vor von BARTA 1958, SCHÖNHERR 1959, MAJEWSKI 1966, HILLIGER 1969, BUROW und HILLIGER 1969.

Im Hinblick auf das Größenverteilungsgesetz von JUNGE 1952b erscheint es mir interessant, auch Arbeiten über den Tages- und Jahresgang von Kernen und keimhaltigen Kernen in abgeschlossenen Räumen aufzuführen.

Bei Keimuntersuchungen in Tierstallungen über einen längeren Zeitraum hin konnten HURTIENNE 1967 und HOFFMANN und RICHTER 1964 feststellen, daß sich die gefundene Keimzahl pro Lufteinheit je nach Stallart, Tierart und Tierbesatz trotz ständigen Wechsels von beeinflussenden Faktoren in stalltypischer Größenordnung bewegt.

BUROW und HILLIGER 1969 machten bei Paralleluntersuchungen des Keim- und Staubgehaltes in Ställen folgende Beobachtungen: in einem einstreulosen Schweinestall mit Spaltenbodenboxen lag der Staub- und Keimgehalt während der Naßfütterung, die mit gleichzeitiger Naßreinigung des Stalles verbunden war, erheblich niedriger als während der Stallruhezeit. In einem mit Stroh eingestreuten Milchviehanbindestall dagegen stieg der Staubgehalt

während der Trockenfütterung etwa um ein Drittel der Vergleichswerte zur Stallruhezeit an.

KLIEWE und WASIELEWSKI 1952 konnten nach Versprühen künstlicher Aerosole einer 25%igen NaCl-Lösung in der Größenordnung von 0,5-10 Mikrometer in 2 Räumen, von denen der eine absichtlich oft frequentiert wurde, beobachten, daß in beiden Räumen ein schnelles Absinken der Partikeln innerhalb der ersten beiden Stunden stattfand. In dem nicht benutzten Raum stellten sie eine kontinuierliche, mit ständig sinkender Tendenz erfolgende Abnahme fest, im benutzten Raum aber entgegen der Erwartung, daß bei Betreten des Raumes eine erneute Aufwirbelung stattfindet, ein sprunghaftes und schnelles Absinken der Aerosolkonzentration.

Die Beobachtungen von KLIEWE und WASIELEWSKI und BUROW und HILLIGER scheinen auf den ersten Blick nicht in Einklang zu stehen zwischen der postulierten Beziehung zwischen Kernentstehung und Kernvernichtung einerseits und Keimanreicherung und Keimausfall andererseits. Diese Frage soll daher bei der Besprechung der eigenen Untersuchungen erneut aufgegriffen werden.

2. Zusammenhänge zwischen Kerngröße und Retention im Atmungsstrakt

Zusammenhänge zwischen Kerngröße und Retention im Atmungsstrakt werden in der Literatur u.a. behandelt von LANDAHL und TRACEWELL 1949, EFFENBERGER 1952, JUNGE 1952, FLACH 1957, ANDERSEN 1958, NÜCKEL 1962, REIFFERSCHIED 1963, REITER und PÖTZL 1967.

Die in der neueren Literatur bestätigten Zahlenangaben von LANDAHL und TRACEWELL 1949 verdeutlichen die hohe Schutzwirkung der Nase gegen grobe Luftverunreinigungen (s. Abb. 5). Danach werden 50% aller Kerne von $5\mu\text{m}$, 80%

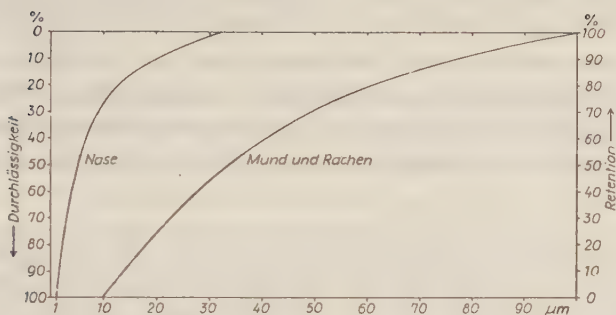


Abb. 5. Retention von Schwebstoffen aus der Atemluft in der Nase und in Mund und Rachen in Prozenten der Teilchenzahlen je Teilchengröße (entnommen aus NÜCKEL 1962)

von 12µm und 90% von 20µm zurückgehalten. Kerne in der Größenordnung von 30µm können die Nase praktisch nicht mehr passieren. Dagegen ist die Filterwirkung der Nase für Kerne in der Größenordnung um 1µm bedeutungslos.

Als Ursachen der Filterwirksamkeit kommen nach NÜCKEL folgende Zusammenhänge in Betracht: Die Einengung des Querschnittes der Bronchien II. Ordnung führe zu erheblicher Beschleunigung des Luftstromes und infolge der Trägheitskräfte zur Ausschleuderung von den in die Trachea eingedrungenen Kernen. Die plötzliche Erweiterung des Gesamtquerschnittes der Bronchien III. Ordnung führe zu plötzlicher Verlangsamung des Luftstromes, so daß die Sedimentation als wirksamer Faktor in den Vordergrund trete. Eine besondere Bedeutung komme dem physiologischen Begriff des 'Totraums' zu. Er betrage beim Menschen ca. 170cm³. Dieser 'Totraum' stelle das Kern-Grobfilter zum Schutz der Lunge dar, dem eine Absolutwirksamkeit für alle Kerne > 5µm zukomme. Diese Filterwirksamkeit sinke für Kerne zwischen 5-1µm. Kerne um 1µm seien gerade filterbrechend, d.h. sie könnten die Atemwege 2 mal passie-

ren, ohne zurückgehalten zu werden. Auf das Kernfeinfilter, die physiologischen und physikalischen Größen der Filterwirksamkeit und die Komponenten der Selbstreinigung des Atemfilters (Flimmerepithel, Schleimbelag, Alveolarepithel und Lymphsystem) kann in diesem Zusammenhang nur unter Bezug auf die Arbeit von NÜCKEL 1962 hingewiesen werden.

Aufgrund dieser Angaben wird deutlich, daß den oben beschriebenen Zusammenhängen zwischen Größenverteilung und Partikelzahl einerseits, und den Zusammenhängen zwischen Keimkernen und den übrigen Kernen andererseits hinsichtlich der Eindringungstiefe in den Atmungstrakt erhebliche Bedeutung zukommt (FLACH 1957). Dieser hygienische Aspekt veranlaßte ANDERSEN ein Gerät mit einem fraktionierten Nachweis der keimhaltigen Kerne zu entwickeln (s. II C 3).

Das in der Luft vorliegende Größenspektrum des Aerosols kann aber nicht ohne Einschränkung als Maßstab für die zu erwartende Retention im Atmungstrakt benutzt werden. Nach WELLS 1955 bestimmt nicht in erster Linie die Partikelgröße, sondern ihre aerodynamische Dimension die Eindringungstiefe in den Atmungstrakt. Nach REITER und PÖTZL 1967 beeinflussen die Partikelabscheidung außer dem Größenspektrum des Aerosols noch die physikalischen Eigenschaften der Partikeln wie Form, Dichte, Hygroskopizität und elektrische Ladung. Von Bedeutung ist ferner auch der von JUNGE geführte Nachweis, daß oberhalb 70% rel. Feuchte eine rasche Größenzunahme der Kerne erfolge. Nach NÜCKEL beträgt die Luftfeuchtigkeit im Bronchialbaum 100%. Deshalb weist er auch darauf hin, daß bei der Passage des Bronchialbaums Kerne erheblich an Größe zunehmen könnten und deshalb leichter abgeschieden würden. REIFFERSCHIED 1963 führt an, daß auch die stets auftretende Quellung der Kerne im menschlichen Atmungstrakt bedinge, daß die ursprünglich im Größenbereich der Aitken-

kerne befindlichen Kerne ebenfalls nicht wieder ausgeatmet würden.

Schließlich ist für die Retention im Atmungstrakt von erheblicher Bedeutung auch der von JUNGE nachgewiesene Mischkerncharakter der Kerne. Nach REITER und PÖTZL findet beim Retentionsakt aus diesem Grund stets eine Entmischung des heterogenen Gesamtaerosols nach Partikelgröße und nach der chemischen Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen statt. Abhängig von der Natur des Schwebstoffgemisches ergebe sich mithin eine stark unterschiedliche Ablagerung auch der biologisch wirksamen Komponenten in den einzelnen Atemtraktabschnitten.

Aufgrund der Literaturangaben kann vermutet werden, daß hinsichtlich der Einschätzung der Gesundheitsgefahr und der Filterwirksamkeit des Atmungstrakts die Größenangabe der Kerne allein keinen voll befriedigenden Aufschluß zu geben vermag.

C. Die quantitative Erfassung von Keimkernen und keimhaltigen Kernen

Um lebende Luftkeime quantitativ zu erfassen, ist es notwendig, sie auf Nährböden zu bringen, auf denen das Anwachsen zu Bakterienkolonien als Kriterium der Lebensfähigkeit gewertet wird (ALBRECHT 1955).

Nach GUNDERMANN 1969 lassen sich die Methoden zur Untersuchung des Keimgehaltes der Luft im wesentlichen einteilen:

1. Impinger-Verfahren (Waschprinzip)
2. Schlitzsammler (Trägheitsprinzip)
3. Filtrationsmethoden (Filterprinzip)

Über die einzelnen Verfahren und ihre Modifikationen berichten in der Literatur ausführlich u.a. UHLIG 1953/54,

ALBRECHT 1958, MAY 1967, NOBLE 1967, HURTIENNE 1967,
GUNDERMANN 1969.

1. Die Leistungsfähigkeit

Als Anforderungen an die Verfahren zum Nachweis von Mikroorganismen der Luft ergeben sich nach ALBRECHT 1958:

1. Die Abscheidung aus der Luft in bzw. auf einem flüssigen oder festen Medium soll möglichst vollständig erfolgen.
2. Alle abgetrennten Mikroorganismen sollen quantitativ bestimmt werden können.
3. Ein Verlust der Lebensfähigkeit der Keime während der Anreicherung und Sichtbarmachung darf nicht eintreten.
4. Eine Bestimmung der Teilchengröße, zumindest aber eine Unterscheidung zwischen Einzelkeimen und Keimkonglomeraten, ist wünschenswert.
5. Das Verfahren soll bei hohen und geringen Keimkonzentrationen verwertbare Resultate liefern.
6. Das Verfahren soll einfach und wirtschaftlich sein und sowohl in Räumen als auch im Freien Verwendung finden können.

Zur Leistungsbewertung benutzt man überwiegend die zeitparallele Keimzahlbestimmung mit zwei oder mehreren Geräten und bewertet dasjenige als das leistungsfähigere, das die bessere Ausbeute - gemessen an der ausgezählten Koloniezahl - liefert (UHLIG 1953/54, ALBRECHT 1957, TYLER und SHIPE 1959, HURTIENNE 1967, HILLIGER 1969, WANNER 1969, WANNER und DEUBER 1969). Über die Leistungsfähigkeit von Keimsammelgeräten versucht man auch dadurch eine Aussage zu gewinnen, indem man Geräte des gleichen Typs oder eines anderen Typs hintereinanderschaltet und so das 'Rückhaltevermögen' prüft (ANDERSEN 1958, HAFERKORN und Mitarb. 1968, KNOCH 1971 u.a.). Auf die ausführlichen Darstellungen über Leistungsprüfungen von Luftkeimuntersuchungsgeräten sei auf die Arbeit von KNOCH 1971 verwiesen.

2. Die Aussageart

Bei der Bewertung von Luftkeimsammelgeräten sind nach ALBRECHT 1955 zwei methodisch unterschiedliche Gruppen zu unterscheiden: 'Mit Hilfe der einen Gruppe wird die Zahl der in der Luft schwebenden oder sich aus der Luft absetzenden Partikel, in oder an denen sich lebensfähige Keime befinden, bestimmt. Mit der anderen Gruppe wird die tatsächliche Zahl der lebenden Keime erfaßt... Zur 1. Gruppe gehören Methoden, die die Luftkeime unmittelbar auf feste Nährböden bringen (z.B. Absetzplatte, Luftzentrifuge, Slit-Sampler, Membranfilter), zur 2. Gruppe solche, bei denen die Keime in Waschflüssigkeiten gebracht und dabei diejenigen, die zusammenliegen, durch Schütteln (während des Auffangens oder später) voneinander losgelöst werden.' Die Ansicht, daß das Ergebnis der Waschverfahren die Zahl von Keimkernen ('viable cells') und das der Slit-Sampler die Zahl keimhaltiger Kerne ('viable particles') darstelle, wird in der Literatur u.a. geteilt von ANDERSEN 1958, LIDWELL und Mitarb. 1959, MAY 1964 und 1967, WANNER und DEUBER 1969.

3. Die methodische Charakteristik des ANDERSEN-Samplers

Wegen der im Literaturteil II B 2 beschriebenen Zusammenhänge zwischen Kerngröße und Retention im Atmungstrakt war ANDERSEN bemüht, ein Gerät zu entwickeln, das die keimhaltigen Kerne und Keimkerne nach Anzahl und Größe ordnet, um somit den Ort der Retention der Fraktionen des Gesamtaerosols besser einschätzen zu können.

Der unter seinem Namen bekannt gewordene ANDERSEN-Sampler ist in den Abb. 6 und 7 dargestellt. Der ANDERSEN-Sampler ist ein Schlitzsammler (Slit-Sampler) mit sechs Stufen, die unter Verwendung von Dichtungsringen übereinandergesetzt und durch drei Klemmfedern zusammengehalten werden. Am Fußteil des Gerätes befindet sich ein Stutzen zum



Abb. 6. Der ANDRUSSEN-Sampler - Ansicht des Gerätes.
Die oben liegende Einstromöffnung ist mit
einer Schutzkappe verschlossen.

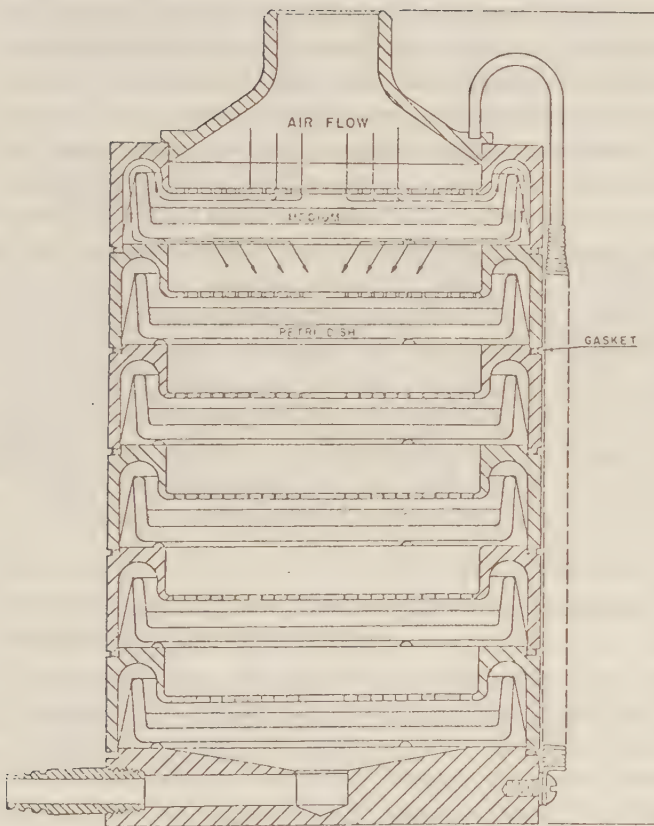


Abb. 7. Der ANDERSEN-Sampler - Schnittzeichnung.
An den links unten sichtbaren Stutzen wird
die Luftpumpe angeschlossen.
(entnommen aus ANDERSEN 1958)

Anschluß der Luft-Saugpumpe. Die Zuführung der zu prüfenden Luft erfolgt von oben durch einen kegelförmigen Deckel, der an seiner Spitze eine Einströmöffnung mit einem Durchmesser von 2,5cm freiläßt. Jede Stufe besteht aus einer mit 400 Löchern perforierten dünnen Aluminiumplatte und einem darunter befindlichen Raum für je eine Petrischale. Die Luft soll mit einer Geschwindigkeit von 28,4 l/min (=1 cfm) durch das Gerät angesaugt werden. Die Größe der Löcher ist für jede Stufe einheitlich, verringert sich aber von Stufe zu Stufe. Dadurch verstärkt sich die Strahlgeschwindigkeit nach aerodynamischen Gesetzmäßigkeiten von der 1. Stufe bis auf das 22 fache auf der 6. Stufe. Ist die einem Kern erteilte Geschwindigkeit ausreichend groß, so kann nach ANDERSEN 1958 die Trägheit des Kerns den aerodynamischen Sog überwinden und den drehenden Luftstrahl verlassen, und der Kern stößt auf die Nährbodenoberfläche auf. Der Sampler sei so konstruiert, daß bei der genannten Geschwindigkeit jeder Kern in der Größenordnung eines Bruchteils von 1µm und größer auf einer der sechs Stufen abgelagert werde.

Der Partikelgrößenbereich, der auf den einzelnen Stufen gesammelt wird, wurde von ANDERSEN 1958 durch künstliche Aerosole von Krylon, Carnaubawachs, Ei- und Bakterien-schlamm und anderen Materialien mikroskopisch ausgemessen. Die Größenangaben (s. Abb. 8) beziehen sich somit auf sphärische Kerne der Dichte 1 oder auf andere Kerne mit äquivalenten aerodynamischen Dimensionen. Es ergibt sich somit folgende Größenverteilung nach dem Kerndurchmesser:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. Stufe: über 9,2µm | 4. Stufe: 2,0-3,3µm |
| 2. Stufe: 5,5-9,2µm | 5. Stufe: 1,0-2,0µm |
| 3. Stufe: 3,3-5,5µm | 6. Stufe: unter 1µm |

Nach ANDERSEN entsprechen die Samplerstufen 1 und 2 der Filterwirksamkeit der Nase, die Stufen 3 und 4 der Trachea und dem Bronchialbaum und die Stufen 5 und 6 den Alveolen.

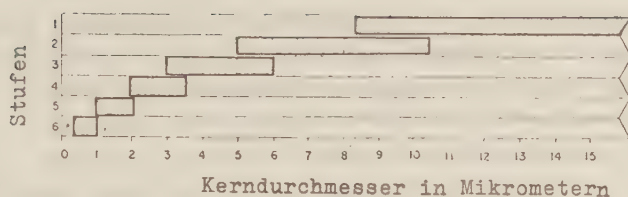


Abb. 8. Die von den 6 Stufen des ANDERSEN-Samplers erfaßten Kerngrößen
(entnommen aus ANDERSEN 1958)

Zur **A u s w e r t u n g** der Ergebnisse des ANDERSEN-Samplers empfehlen LIDWELL und NOBLE 1965, daß die Anzahl der Kolonien ein Fünftel der Lochzahl, also etwa 80 Kolonien der Nähragarplatte, nicht überschreiten soll. Steigt die Koloniedichte, so besteht die Gefahr der Kolonieüberlagerung, die ein zu tiefes Zählergebnis bewirkt. Für die Bewertung höherer Koloniedichten wurde daher von ANDERSEN eine sogen. 'Konversionstabelle' erarbeitet. Sie gilt für die 3. bis 6. Stufe des Gerätes und erlaubt unter Benutzung eines mit der Dichte steigenden Multiplikationsfaktors zwischen 1,0 und 6,1 eine Ergebnisbewertung bis zu 399 Kolonien pro Nähragarplatte.

Für die weiteren Einzelheiten des Gerätes und für die Technik der Durchführung einer Luftuntersuchung wird auf den Abschnitt 'Methodik' verwiesen.

4. Untersuchungen mit dem ANDERSEN-Sampler

Den ANDERSEN-Sampler als Prüfgerät zur Bestimmung der Anzahl und Größenverteilung keimhaltiger Kerne benutzten bei der Untersuchung von Geflügelställen SINGH 1964 sowie KOTULA und KINNER 1964. Auf dem Gebiet der Human-Hygiene liegen Untersuchungen mit dem ANDERSEN-Sampler vor u.a. von KANZ 1966/67, KANZ und KAUTE 1968, WANNER und DEUBER 1969 und WANNER 1970.

Über die Leistungsfähigkeit des ANDERSEN-Samplers liegen Untersuchungen von ANDERSEN 1958, MAY 1964 sowie von LIDWELL und NOBLE 1965 vor. In diesem Zusammenhang kann in Anlehnung an ANDERSEN 1958 unterschieden werden zwischen 'Wandverlusten' und solchen Verlusten, die durch 'Durchschlüpfen', also den völligen Durchgang von keimhaltigen Kernen durch das Gerät, entstehen. ANDERSEN 1958 konnte experimentell nachweisen, daß der ANDERSEN-Sampler ein 'Durchschlüpfen' sowohl der keimhaltigen Kerne als auch der Keimkerne verhindert. Wandverluste mit Hilfe von Abklatschpräparaten konnte er nur feststellen, wenn er ein Aerosol mit einer extrem hohen Anzahl (22×10^{10}) keimhaltiger Kerne ansaugte. ANDERSEN schließt aus seinen Versuchen, daß bei Benutzung seines Gerätes unter normalen Feldbedingungen mit Wandverlusten nicht zu rechnen sei.

Zum kulturellen Nachweis von Oberflächen-Kontamination im Sinne der 'Wandverluste' und zu den damit verbundenen Schwierigkeiten liegen zwischenzeitlich methodisch wichtige Arbeiten von MAUNZ und KANZ 1969 und GUNDERMANN 1969 vor. Auf ihrer Grundlage wurden die eigenen Untersuchungen über Wandverluste durchgeführt. Nach GUNDERMANN 1969 können Abklatschversuche nur semiquantitativ als Grad der Verunreinigung gewertet werden, da es nicht gelinge, auch durch mehrmaliges Abklatschen der gleichen Stelle alle Keime zu erfassen. MAUNZ und KANZ 1969 konnten den gesamten abklatschbaren Keimgehalt mit Hilfe von Abklatschserien bestimmen. Diese Bestimmung wurde mit Hilfe der Berechnung einer Regressionsgeraden durchgeführt. Sie konnten so einen Faktor ermitteln, mit dem der erste Abklatsch multipliziert werden muß, um den abklatschbaren Keimgehalt einer Oberfläche zu erhalten. Für unterschiedliche glatte und raue Materialien ergaben sich dabei verschiedene Faktoren (s. Abb. 9). Für Metall und Glas geben MAUNZ und KANZ 1969 den Faktor 3-3,4 an.

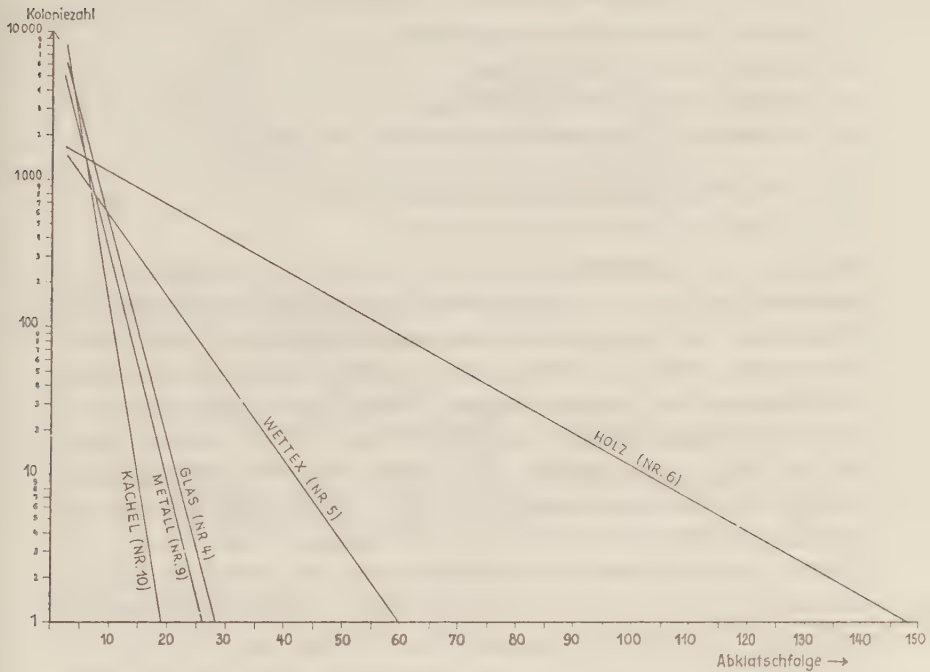


Abb. 9. Logarithmische Keimabnahme, erhalten durch mehrfachen Abklatsch derselben Stelle von Kachel, Metall, Glas, Wettex, Holz, die mit *Staph. aureus* infiziert waren (entnommen aus MAUNZ und KANZ 1969)

Bei der methodischen Prüfung des ANDERSEN-Samplers fand MAY 1964, daß das Koloniemuster auf den einzelnen Petrischalen nicht in jeder Stufe mit dem Lochmuster der Lochplatte übereinstimmte. Dies traf besonders für die Stufen 1 und 2 zu. Ebenfalls erwies sich, daß Riesenkerne über 12µm nur unvollständig zum Nachweis kommen. MAY 1964 überprüfte die Abscheideleistung des ANDERSEN-Samplers durch Abscheidung künstlicher Aerosole auf Glasplatten. Zum Nachweis benutzte er kolorimetrische und fluoreszenzmikroskopische, nicht dagegen kulturelle Verfahren. Er

stellte vier gerätegebundene Effekte fest:

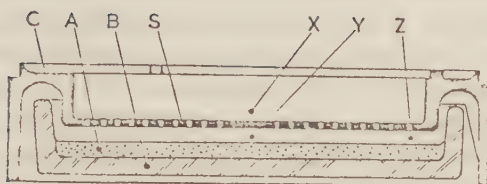
1. Wirkung des radialen Druckabfalls,
2. Wirkung durch Interferenz,
3. Wirkung der Partikelgröße und
4. Wirkung des kegelartigen Deckels.

Zu 1. Wirkung des radialen Druckabfalls
(radial pressure fall = rpf)

Durch die im ANDERSEN-Sampler auftretenden Druckunterschiede, die in Tab. 1 aufgeführt sind, findet ein höherer Durchfluß von Kernen durch die äußeren als durch die inneren Löcher statt (s. dazu auch Abb. 10). Dieses Verhältnis der äußeren zur inneren Düsendeschwindigkeit ergibt sich aus den Druckunterschieden $\frac{P_x - P_z}{P_x - P_y}$, das aus der letzten Spalte von Tab. 1 zu ersehen ist. Danach strömt am Rand im Vergleich zur Lochplattenmitte in der 1. Stufe die 2,05 fache, in der 2. Stufe die 1,33 fache Partikelzahl durch die Löcher. Für die Stufen 3-6 nähert sich die Relation rasch dem Wert 1,0, so daß die Wirkung auf die Verteilung keimhaltiger Kerne hier vernachlässigt werden kann.

Stage	Radial pressure fall	Pressure fall across outer and inner jets		Ratio of outer and inner jet velocities
	$P_y - P_z$	$P_x - P_z$	$P_x - P_y$	$\frac{P_x - P_z}{P_x - P_y}$
1	0,26	0,34	0,08	2,05
2	0,33	0,76	0,43	1,33
3	0,42	1,66	1,26	1,15
4	0,45	6,2	5,7	1,05
5	0,51	33,5	33,0	1,01
6	0,63	81,5	80,9	1,004

Tab. 1. Innere statische Druckdifferenzen beim
ANDERSEN-Sampler in mm Wassersäule
(entnommen aus MAY 1964)



- A = Agar auf der Petrischale
- B = Petrischale
- C = Metallkörper mit S
- S = Lochplatte
- X = Luftraum über S
- Y = Luftraum unter dem Zentrum von S
- Z = Luftraum unter dem Ring der äußeren Löcher

Abb. 10. Schnittbild einer Stufe im ANDERSEN-Sampler mit eingesetzter Petrischale (entnommen aus MAY 1964)

Zu 2. Wirkung durch Interferenz

Auf den Stufen 1 und 2 sind bestimmte Koloniegruppierungen neben freien Höfen erkennbar, die durch die unterschiedlichen Druck- und Strömungsverhältnisse als Folge von Interferenzerscheinungen zu deuten sind. Diese Wirkung führe zu selektiver Aussonderung kleiner Kerne und dem Versagen des Aufpralleffektes auf breiten Gebieten.

Zu 3. Wirkung der Partikelgröße

Die sich auf den obersten beiden Stufen ergebenden Unterschiede der Koloniedichte sind abhängig von der Partikelgröße, da sehr große Partikeln genügend Trägheit besitzen, die Wirkungen der Interferenz und der 'impaction efficiency' von rpf zu überwinden.

Zu 4. Wirkung des kegelförmigen Deckels

Der auf dem ANDERSEN-Sampler befindliche Deckel verteilt das Aerosol nicht gleichmäßig über die obere Lochplatte,

sondern richtet einen breiten Luftstrahl auf den Mittelteil der Lochplatte. Dadurch würden nach MAY viele große Kerne auf die obere Fläche der Lochplatte aufprallen. Diejenigen, die durch die Löcher gelangten, würden vorzugsweise ins Zentrum der Petrischale prallen. MAY ermittelte, daß bei Versuchen mit dem Deckel 87% der Kerne auf der Lochplatte abgelagert werden, während nur 13% auf den Nähragar gelangen. Bei Versuchen ohne Deckel seien auf dem Nähragar etwa 78% entdeckt worden. Diese Wirkungen erhöhten sich noch mit zunehmender Kerngröße. Fiele die Kerngröße unter $12\mu\text{m}$, so verringere sich der Einfluß des kegelförmigen Deckels merklich.

Auf der Grundlage dieser Befunde von MAY 1964 machen außer MAY auch LIDWELL und NOBLE 1965 Vorschläge zur konstruktiven Änderung des ANDERSEN-Samplers, um besonders die Abscheideleistung von Riesenkernen über $12\mu\text{m}$ zu verbessern.

5. Vergleiche zwischen Slit-Sampler- und Waschverfahren

Wenn in den nachstehenden Ausführungen die verschiedenen Gerätetypen, die als Waschverfahren betrieben werden, gleichgesetzt werden, so geschieht es deshalb, weil in der Literatur in bezug auf die Aussageart der Gerätetypen schlechthin von Waschverfahren gesprochen wird, ohne eine Differenzierung der Gerätetypen zu berücksichtigen. Die Arbeiten von TYLER und SHIPE 1959, die den Ganz-Glas-Impinger mit anderen Impingern verglichen und sehr unterschiedliche Ergebnisse mit den einzelnen Gerätetypen erzielten, lassen eine solche Gleichsetzung bedenklich erscheinen. Deshalb wird im folgenden der Gerätetyp jeweils genannt, hinsichtlich der Aussageart des Waschverfahrens aber in seiner Leistungsfähigkeit nicht berücksichtigt.

Geht man von den im Literaturteil B behandelten Zusammenhängen zwischen Keimen und Kernen aus, dann stünde unter der Annahme, daß viele Keime zusammenliegend oder mit

Kernen verbunden in der Luft schweben, zu erwarten, daß die Impinger-Ergebnisse hinsichtlich der Ergebnisse anderer Verfahren höher liegen. Dies setzte freilich die in der Literatur z.T. vertretene Ansicht voraus, daß im Waschwasser die einen Kern bildenden Teilchen und Keime sich voneinander lösen und solange isoliert bleiben, bis sie verimpft werden.

Bei Vergleichsmessungen unter Stallbedingungen erwies sich der Standard-Impinger nach BRACHMAN und Mitarb. dem Slit-Sampler-Verfahren überlegen (HILLIGER 1969). Bei vergleichenden Freiluftmessungen erzielten WANNER und DEUBER 1969 für den CASELLA-Slit-Sampler jedoch Werte, die um etwa 20% höher lagen als die für den GREENBURG-SMITH-Impinger. ANDERSEN 1958 verglich seinen ANDERSEN-Sampler mit einem Ganz-Glas-Impinger unter Laborbedingungen. Dabei erhielt er für den Impinger bei Versprühen von *B. subtilis* 55% und bei Versprühen von *S. marcescens* nur 42% der Werte, die der ANDERSEN-Sampler lieferte. ANDERSEN erklärt dieses unterschiedliche Ergebnis damit, daß der mechanisch so intensive Waschvorgang im Impinger die Zahl der vegetativen Zellen und Sporen reduziere.

Diese Ansicht bestätigen Befunde von SCHIFF und FONROBERT 1970. Nach ihrer Auffassung wirkt das vehemente Impingerprinzip keimschädigend, während ein einfaches Luftdurchperlen durch die Waschflüssigkeit keimschonend ist. Bei Verminderung der Luftgeschwindigkeit auf 1 l/min konnten sie durchschnittlich doppelt so viele Keime nachweisen wie bei einer Luftgeschwindigkeit von 12 l/min. Allerdings konnten sie bei dieser geringen Luftgeschwindigkeit bei Hintereinanderschaltung von 12 Impingern im ersten Gerät nur etwa 28% der in allen 12 Geräten aufgefangenen Keime nachweisen. Bei den von TYLER und SHIPE 1959 angestellten Versuchen über das Rückhaltevermögen für verschiedene Impinger-Typen betrug die Verlustrate für den AGI-4 bei hoher Durchflußrate weniger als 1%. WINDISCH 1965 erhielt

durch Hintereinanderschalten von Impingern nach BRONN für den ersten Impinger eine Ausbeute von 93-97%. Für den in den eigenen Versuchen benutzten Standard-Impinger nach BRACHMAN und Mitarb. stellte KNOCH 1971 durch Hintereinanderschaltung zweier Impinger und eines Membranfilters für das erste Gerät eine relative Ausbeute von $99,8 \pm 0,2\%$ fest. Im Vergleich zu anderen Keimsammelgeräten erwies sich der Standard-Impinger unter Stallbedingungen hinsichtlich der nachgewiesenen Koloniezahl pro Liter Luft als überlegen (HURTIENNE 1967, HILLIGER 1969, KEMPMANN 1970).

WANNER und DEUBER 1969 nennen als Ursachen für unterschiedliche Werte zwischen Waschverfahren und Slit-Samplern: lägen die Slit-Sampler-Werte höher als die Impinger-Werte, so könnten in der Luft vorhandene organische oder anorganische Hemmstoffe es sein, die gleichzeitig mit den Bakterien in die Flüssigkeit gelangten und deren Wachstum auf den Nährbodenplatten hemmten. Seien umgekehrt die Impinger-Werte höher als die Slit-Sampler-Werte, so könnten Bakterienkonglomerate es sein, die beim Aufprallen in den Impingern aufgespalten und beim Anlegen der Kulturen als einzelne Bakterien erfaßt würden.

LIDWELL und Mitarb. 1959 sind mit ANDERSEN 1958 der Ansicht, daß keimhaltige Kerne zum Teil oder vollständig im Waschwasser aufgebrochen würden. Aus dem Vergleich zwischen Slit-Sampler-Verfahren und Waschverfahren ließe sich somit ein annäherndes Ausmaß für die Aggregatbildung ableiten. Bestünden zwischen beiden Verfahren keine Unterschiede, dann trügen die Kerne nur einen Keim. LIDWELL und Mitarb. 1959 und MAY 1967 räumen aber ein, daß auch die Möglichkeit bestehe, daß die Aggregatbildung so fest sei, daß eine Lösung im Waschwasser nicht erreicht werde.

Diese Möglichkeit erscheint durch Versuche von PETRAS 1966/67 nicht unwahrscheinlich. Die durch Impinger-Verfahren gewonnenen suspendierten Mikroorganismen unterzog er einem

modifizierten CHOLODNY-Verfahren, das in dem Prinzip besteht, daß die in Flüssigkeiten suspendierten Mikroorganismen eingeengt und gewaschen werden. Mit einem besonderen Verfahren wurde die gewaschene Mikroorganismensuspension auf einen Objektträger gebracht, mit 0,001%iger Acridinorangelösung gefärbt und anschließend fluoreszenzmikroskopisch untersucht. Die 'Schmutzpartikeln' erschienen hierbei orangerot, während sich die Zellen durch deutliche Grünfärbung abhoben. Mit dieser mikroskopischen Analyse ermittelte PETRAS zwischen 38.200 und 52.600 bakterienartige Zellen/l Luft, während die Impingerflüssigkeiten, denen die Proben für die fluoreszenzmikroskopische Untersuchung entnommen waren, nach Verimpfung nur zwischen 30 und 42 Kolonien/l Luft nachwiesen. Obwohl PETRAS die fluoreszenzmikroskopisch ausgezählten Zellen als lebende und tote Bakterien deutet, kann nicht ausgeschlossen werden, daß es sich neben Bakterien auch um Pollen, Samen, andere Pflanzenzellen und auch Zellen tierischer Herkunft handelte, da NOBLE 1967 auf die Unterscheidungsschwierigkeit mit Nachdruck hinweist. NOBLE meint daher, daß die fluoreszenzmikroskopische Untersuchung nur einen geringen Wert habe. Quantitative Angaben macht NOBLE nicht, so daß zur Zeit nicht beantwortet werden kann, ob die Unterscheidungsschwierigkeiten allein ausreichen, um die Nachweisunterschiede bei PETRAS zu erklären.

Das Ergebnis der Waschmethode kann auch durch die Art der Versuchsdurchführung, kulturellen Verarbeitung und Auswertung stark beeinflußt werden. Diese Zusammenhänge werden ausführlich dargestellt von ANDERSON und COX 1967, SCHMIDT 1963, KEMPMANN 1970, KNOCH 1971 und WERNERY 1971.

Auffallend ist, daß in der Literatur beim Waschvorgang ausschließlich die Freisetzung der Keime aus Kernen angesprochen bzw. diskutiert wird. Angaben oder Hinweise auf die Möglichkeit einer Partikelzusammenlagerung durch den Waschvorgang konnte ich jedoch nicht finden. Bei dem Zu-

sammenstoß der Kerne in der turbulenten Flüssigkeit kann eine Koagulation nicht ausgeschlossen werden. Ob hierbei die von JUNGE 1952 berechneten Koagulationsgesetze in vollem Umfang auch für Hydrosole Gültigkeit haben wie für die Kerne im Aerosol, ließ sich aus der von mir eingesehenen Literatur nicht entnehmen. Die Möglichkeit einer Koagulation erscheint m.E. nicht abwegig, wenn man folgende Gegebenheiten in Betracht zieht: Das nach dem Rezept von TYLER und SHIPE 1959 zugesetzte Öl, das ein Übersprudeln der Flüssigkeit verhindern soll, kann bei Zusammenstoß mit Festteilchen zur Anlagerung dieser Teilchen an das Öl führen. Wenn auch ölbeladene Teilchen zusammenstoßen, bilden sich nach PIETSCH 1967 an den Berührstellen Ölzwickel, in denen Kapillarkräfte wirksam sind, was zur Agglomeratbildung führt. Schließlich wird die nach dem gleichen Rezept der Waschflüssigkeit zugesetzte Gelatine als organischer Naturstoff zur Entfernung feinsten Verunreinigungen aus Trüben benutzt. Nach PIETSCH lagern sich die feinen Teilchen diesem Stoff an, werden somit spezifisch schwerer und sedimentieren besser ab. Das von WANNER und DEUBER 1969 beobachtete Ereignis, daß nach einer Aufbewahrungszeit der Waschflüssigkeit von 2-6 Stunden die ermittelten Koloniezahlen im Mittel noch 90%, bei einer Aufbewahrung von 16-25 Stunden im Mittel noch 70% der entsprechenden Ausgangswerte betragen, müssen nicht unbedingt als Absterberate, sondern können auch als Folge erfolgter Koagulation und Sedimentation gedeutet werden.

III. Eigene Untersuchungen

Die in der Literatur dargelegten uneinheitlichen experimentellen Erfahrungen und die unterschiedlichen Vorstellungen zur Frage der Struktur der keimhaltigen Kerne und der Keimkerne auch der Stallluft gaben Veranlassung, den ANDERSEN-Sampler in die Untersuchungen über die Kerne der Stallluft einzubeziehen. Durch die Fraktionierung der kulturell nachweisbaren keimhaltigen Kerne und Keimkerne nach der Kerngröße kann erwartet werden, daß die Untersuchungsergebnisse mit diesem Gerät unsere Kenntnisse auf dem Gebiet der Aerosolstruktur der Stallluft verbessern. Vor der Einleitung von vergleichenden Meßreihen, die in Ställen verschiedener Nutztierarten und verschiedener Haltungssysteme vorgesehen sind, sollen die hier vorgelegten Untersuchungen dazu beitragen, die Funktionstüchtigkeit und Leistungsfähigkeit des ANDERSEN-Samplers unter Stallbedingungen näher kennenzulernen.

Da sich bei den bisher im tierhygienischen Labor des Instituts für Veterinär-Hygiene der FU Berlin durchgeführten Untersuchungen über Mikroorganismen in der Stallluft der Standard-Impinger nach BRACHMAN und Mitarb. in quantitativer Hinsicht als optimales Nachweisverfahren erwiesen hat (HURTIENNE 1967, HILLIGER 1969, KEMPMANN 1970 und KNOCH 1971), wurde dieses Gerät vorrangig zum Vergleich herangezogen. Wegen der Erfahrung, daß in der Stallluft stets mit einem besonders hohen Anteil an Riesenkernen zu rechnen ist (BUROW 1967), erschien es notwendig, die Angaben von MAY 1964 über die unbefriedigende Abscheideleistung der Riesenkern im ANDERSEN-Sampler besonders durch Abklatsch-Versuche zu überprüfen.

A. Methodik

1. Versuchsgeräte und ihre Handhabung

a) Der ANDERSEN-Sampler

Der ANDERSEN-Sampler ist in seiner methodischen Charakteristik im Abschnitt Literatur dargestellt und dort als Abb. 6 und 7 auf den Seiten 32 und 33 abgebildet. Das benutzte 6-stufige Gerät wurde 1970 aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn-Bad Godesberg, zum Preis von ca. DM 2.200,-- beschafft. Als Hersteller ist die Fa. 2000 ING, Salt Lake City, Utah/USA, genannt (Katalog Nr. 10-000: 6 Stage Sampler for Viable Particles).

Das Gerät besteht aus anodisierter Aluminiumlegierung, die Zubehörteile sind aus rostfreiem Stahl. Es hat mit Deckel eine Höhe von 19,2cm, ohne Ansaugstutzen und ohne Halterungen einen Durchmesser von 10,6cm und wiegt leer 950g. Um es druckdicht zu verschließen, werden die drei am Bodenteil des Gerätes befestigten Federklemmen in die hierfür vorgesehenen Vertiefungen im Deckel eingehakt. Bei den Versuchen mit dem ANDERSEN-Sampler ohne Deckel wurden zum Abstandsausgleich etwa 1cm dicke Korkscheiben auf die Oberseite der ersten Stufe gelegt. Die Federklemmen ließen sich mühelos in den Korken einhaken.

Nach ANDERSEN 1958 soll der Abstand zwischen der Unterseite der Lochplatte und der Oberfläche des Nähragars etwa 2,5mm betragen. Hierzu sollen in die zum Sampler gehörenden KIMAX-Petrischalen, die von der CORNING GLASS WORKS hergestellt werden, 27ml Nähragar eingefüllt werden. Nach Messungen von MAY 1964 beträgt der tatsächliche Abstand bei dieser Einfüllmenge zur Lochplatte jedoch nur zwischen 1,78 bis 2,41mm.

Da mir nicht genügend KIMAX-Petrischalen zur Verfügung standen, wurden für die eigenen Versuche ausschließlich

ANUMBRA-Petrischalen benutzt. Diese ANUMBRA-Schalen unterscheiden sich von den KIMAX-Schalen durch folgende Meßwerte:

	<u>KIMAX-Schalen</u>	<u>ANUMBRA-Schalen</u>
Bodenhöhe:	4,25mm	1,60mm
Gesamthöhe:	15,40mm	16,25mm
Gesamtdurchmesser:	95,00mm	94,00mm

Diese Werte variierten bei beiden Schalentypen bisweilen um 0,5mm.

Wegen der unterschiedlich angegebenen Meßwerte von ANDERSEN 1958 und MAY 1964 und zur Ermittlung der nötigen Einfüllmenge Nähragar für die von mir verwendeten Petrischalen wurde der ANDERSEN-Sampler vermessen. Hierzu wurde ein Dreifußmeßgerät der Fa. KÄFER benutzt, mit dem Höhen im Meßbereich zwischen 0,01 bis 30,00mm gemessen werden können. Es wurden dabei die Entfernungen bestimmt, die zwischen der Lochplattenunterseite eines Geräteteils und dem aus drei Nippeln bestehenden Petrischalenaufsatz des nächstfolgenden Geräteteils liegen. Die Werte zwischen der Unterseite der Lochplatte und dem Aufsatz für die Petrischalen liegen

- für die 1. Stufe bei 10,50mm,
- für die 2. Stufe bei 10,33mm,
- für die 3. Stufe bei 10,31mm,
- für die 4. Stufe bei 10,36mm,
- für die 5. Stufe bei 10,42mm und
- für die 6. Stufe bei 10,59mm.

Die Differenz einer mit 27ml gefüllten Original-KIMAX-Petrischale zwischen Aufsatzfläche und Nährbodenoberfläche liegt durchschnittlich bei 8,3mm. Somit beträgt der von mir gemessene Abstand zwischen der Unterseite einer Lochplatte und der Nährbodenoberfläche einer KIMAX-Petrischale zwischen 2,01 und 2,29mm. Diese Werte liegen somit zwischen den Angaben von ANDERSEN und MAY. Differenzen zwischen 0,5mm und mehr sind aber möglich, da weder eine Loch-

platte noch der Boden einer Petrischale an allen Stellen die gleiche Höhe haben.

Bei diesen Maßen wurde für die ANUMBRA-Schalen eine Einfüllmenge von 50ml Nähragar benötigt. Damit konnte zwischen der Unterseite einer Lochplatte und der Nähragaroberfläche ein Abstand zwischen 2,0 und 2,5mm erreicht werden.

Zum Gießen der Petrischalen wurden jeweils 50ml des sterilen und heißen Nähragars (MERCK Standard II) in sterile Erlenmeyerkölbchen abgefüllt, mit einem sterilen Stopfen verschlossen und nochmals etwa 1 1/2 Stunden im Dampftopf sterilisiert. Danach wurden die Kölbchen in einem Wasserbad auf 50°C abgekühlt und in die sterilen Petrischalen ausgegossen.

Die Heißluftsterilisation des ANDERSEN-Samplers ohne Dichtungsringe dauerte 2 mal 4 Stunden bei 180°C. Bei mehreren Versuchen an einem Versuchstag wurde jede Stufe des Samplers einzeln ohne Dichtungsring mit einer Zange in ein Spiritusbad getaucht und anschließend abgeflammt. Negative Kontrollversuche mit AKAFO-Abklatschfolien nach KANZ 1964 bewiesen den Sterilisationseffekt.

Entnahme und Einsetzen der Petrischale erfolgte immer außerhalb des Stalles, in dem die Messungen durchgeführt wurden, in einem selten benutzten, keimarmen Labor. Während dieser Zeit brannte ein Bunsenbrenner.

Da die zum ANDERSEN-Sampler gelieferte Originalpumpe nur eine Ansaugleistung von etwa 25 l/min erbrachte, benutzte ich für meine Versuche eine Rotationspumpe Typ RTE 2 DV der Fa. RIETSCHLE, Schopfheim. Diese Pumpe hatte eine Leistung von etwa 32 l/min, die mit Hilfe eines Feinregelventils der Fa. LEYBOLD beliebig reduziert werden konnte.

b) Der Standard-Impinger

Der aus Glas bestehende Standard-Impinger ist von zylindrischer Form. Er hat eine Höhe von 27cm, einen Durchmesser von 4cm, und sein Rauminhalt beträgt 135ml. Die Luft wird durch ein rechtwinklig abgebogenes Glasrohr, das einen Durchmesser von 9mm hat, senkrecht in das Gefäß gesaugt und tritt infolge der Kapillarenge etwa mit Schallgeschwindigkeit in das Glasgefäß ein. Der dadurch entstehende Aufpralleffekt auf den Gefäßboden wird als 'Impingement' bezeichnet. Das nach BRACHMAN und Mitarb. 1964 als 'Standard-Impinger' bezeichnete Gerät unterscheidet sich von dem von TYLER und SHIPE 1959 beschriebenen All-Glas-Impinger = AGI durch den von 4mm auf 30mm vergrößerten Abstand zwischen Kapillarenende und Gefäßboden, weshalb er auch in Unterscheidung zum AGI-4 als AGI-30 bezeichnet wird.

Der in den Versuchen benutzte Standard-Impinger wird von der Fa. ACE-Glass Inc., Vineland N.J./USA, POB 192, unter der Bezeichnung -7540- Impinger, 'Air sampling' (Prospekt Bull. No. 6601) vertrieben und ist mit dem 'AGI-30' identisch.

In Anlehnung an TYLER und SHIPE 1959 wurde als Waschflüssigkeit eine Zusammensetzung von 2g Gelatine und 4g Na_2HPO_4 auf 1000ml aqua dest. benutzt. Nach mehrstündiger Sterilisation im Dampftopf wurde die erkaltete Flüssigkeit auf einen pH-Wert von 7,0 eingestellt, in Mengen von 60ml in sterile Glaskölbchen abgefüllt, die anschließend mit einem sterilen Stopfen verschlossen und etwa 1 Stunde lang erneut sterilisiert wurden. Diese Kölbchen wurden maximal 4 Tage lang aufbewahrt. Vor jedem Versuch wurde ein Kölbchen unter Beachtung der üblichen Sterilisationsmaßnahmen in einen 2 mal 2 Stunden lang bei 180°C sterilisierten Standard-Impinger gegossen. Durch Zusatz von wenigen Tropfen Olivenöl wurde ein Übersäumen der Waschflüssigkeit

verhindert. Als Pumpe diente eine regelbare Saugpumpe der Fa. MULTIFIX.

c) Der Membranfilter

Für die Vorversuche wurden verschieden dichte Membranfilter (künftig als MF abgekürzt) und Luftfiltrationsgeräte der Fa. SARTORIUS-Membranfilter, Göttingen, verwendet. Die Luftfiltrationsgeräte (Herstellungsjahr 1969/70) bestehen als geschlossene Einspannvorrichtungen aus zwei trichterförmigen Teilen aus Stahl mit je einer Schlaucholive. In das Unterteil werden in nachstehender Reihenfolge eingelegt: Dichtungsring, Metalleinsatz, Sieb, Membranfilter mit 50mm Durchmesser und Gummidichtungsring. Der Verschluß beider Teile wird durch Verschrauben eines Verschlußringes erreicht.

Dichtungsringe und Schläuche wurden vor Benutzung autoklaviert, die Luftfiltrationsgeräte dagegen 2 mal 2 Stunden lang heißsterilisiert. Das Einlegen der MF in das Gerät und ihre Entnahme erfolgte unter den üblichen Sterilisationsmaßnahmen.

Für die Versuche wurde das Filtrationsgerät mit einem 5cm langen Gummischlauch mit dem Ansaugstutzen des ANDERSEN-Samplers verbunden. Bei Einlegen von MF des Typs SM 11004 verringerte sich durch den erhöhten Widerstand die Ansaugleistung der Pumpe auf ca. 25 l/min, bei Benutzung von MF des Typs SM 11006 sogar auf etwa 20 l/min. Nur bei dem MF-Typ SM 11002 konnte die Luftgeschwindigkeit durch das Regelventil weiterhin beliebig eingestellt werden.

d) Abklatschfolien nach KANZ

Für die Vor- und Hauptversuche wurden zum Abklatschen der Lochplatten und Wandteile des ANDERSEN-Samplers AKAF0-Abklatschfolien nach KANZ 1964 verwendet. Diese Folien

bestehen aus weißem Cellophan und werden angefeuchtet (0,05%ige NaCl-Lösung) und steril verpackt versandt.

Das Abklatschen erfolgte nach folgender Methode:

1. Aufschneiden der Schutztasche,
2. Abheben einer Abklatscheinheit (Abklatschfolie auf transparenter Schutzfolie) mittels einer Lasche,
3. Abklatschen des ANDERSEN-Samplers: die feuchte Abklatschfolie wird auf die zu prüfende Fläche aufgelegt, wobei die Rückseite durch die Schutzfolie vor Kontamination geschützt wird,
4. Abheben der Abklatscheinheit und Abziehen der weißen Folie von der Schutzfolie, wobei nur die Anfaßlaschen berührt werden,
5. Auflegen der abgehobenen weißen Folie auf die Nährbodenoberfläche, so daß die keimbehaftete Folienseite (Abklatschseite) o b e n zu liegen kommt,
6. Abreißen der durch die Hand infizierten Anfaßlaschen entlang den angebrachten Einschnitten.

Es wurde sowohl mit ganzen als auch mit halben Folien gearbeitet. Mit ganzen Folien wurde i.d.R. Ober- und Unterseite der Lochplatten abgeklatscht. Die ganzen Folien wurden dann auf den Nährboden von Kulturbeuteln (= Agarflexkontaktkulturen) nach KANZ 1962 aufgelegt. Vor der Auflegung wurde die Schweißnaht des Beutels mit einer abgeflamnten Anpullensäge eingesägt und mit einer Reißlasche die den feuchten Agar abdeckende Folie abgezogen. Nach Auflegen der Abklatschfolie wurde der Kulturbeutel in ein steriles Glasbehältnis gelegt. Bei Verwendung halber Folien für die Seitenteile und Ränder der Stufen des ANDERSEN-Samplers wurde eine Abklatscheinheit mittels einer abgeflamnten Schere halbiert und dann wie oben verfahren. Die fehlende zweite Anfaßlasche wurde durch eine abgeflamnte Pinzette ersetzt und die abgeklatschte Folie dann auf den Nährboden einer normalen Petrischale aufgelegt.

Kulturbeutel und AKAFO-Folien sind aus dem Institut für hygienisch-bakteriologische Arbeitsverfahren, 8 München 90, Bergstr. 15, zu beziehen.

2. Bakteriologische Verarbeitung und Bewertung

a) Für den ANDERSEN-Sampler

Die Bebrütung der Nährbodenplatten erfolgte bei Zimmertemperatur, die mit einem Thermohygrographen laufend registriert wurde; sie variierte zwischen $26,7^{\circ}\text{C}$ und $19,7^{\circ}\text{C}$ und betrug im Mittel der Hauptversuche $23,5^{\circ}\text{C}$.

Die Bewertung der Nährbodenplatten erfolgte durch Auszählung der Kolonien nach der 'Positiven Lochmethode'. Diese Methode stellt das Auszählen der bewachsenen Lochplätze mit anschließender Umrechnung der erhaltenen Zahlen nach der Konversionstabelle dar. Im Gegensatz dazu ist die 'Negative Lochmethode' das Auszählen der nicht bewachsenen Lochplätze entsprechend dem Lochmuster. In den Vorversuchen wurde außer der 'Positiven Lochmethode' auch die 'Mikroskopmethode' angewendet, die in der Auszählung der nach kurzer Bebrütungszeit mikroskopisch erkennbaren Mikrokolonien besteht. Diese von ANDERSEN 1958 empfohlenen Auswertmethoden werden im Abschnitt 'Ergebnisse der Vorversuche' näher behandelt.

Das Auszählen der Nährbodenplatten erfolgte am 2. und 3. Tag mit dem Zählgerät 'Placont' der Fa. BOSKAMP Gerätebau-KG, Hersel. Eine spätere Auszählung hatte sich in orientierenden Vorversuchen als unzweckmäßig erwiesen, da durch das nahe Beieinanderliegen der Kolonien - besonders auf den beiden obersten Stufen - bei hoher Kontamination ein rasches Zusammenfließen der Kolonien festzustellen war. Infolge dieses Zusammenfließens lag das Zählergebnis der Stufen 1 und 2 am 3. Tag (2. Auszählung) bereits niedriger als bei der 1. Auszählung am 2. Tag. Nur

in diesen Fällen wurde das Zählergebnis der 1. Zählung benutzt. Für die Nähragarplatten der Stufen 3 bis 6 ergab die 2. Zählung immer ein höheres Ergebnis als die 1. Zählung. Zur Auswertung gelangten daher hier die Ergebnisse der 2. Zählung. Wegen dieser auswerttechnischen Schwierigkeiten ist eine Bewertung der beiden obersten Stufen bei mehr als 200 Kolonien nach den eigenen Erfahrungen schwierig und das Zählergebnis insofern zu niedrig. Deshalb bezieht MAY 1964 auch die obersten Stufen in die Umrechnung nach der Konversionstabelle ein. Dieses Verfahren wurde für die Auswertung der eigenen Versuche aber nicht übernommen, sondern es wurden nach dem Vorschlag von ANDERSEN 1958 nur die Nähragarplatten der Stufen 3 bis 6 nach der Konversionstabelle umgerechnet.

b) Für den Standard-Impinger

Um für jeden Versuch bei dem wechselnden Keimgehalt des Versuchstierstalles auszählbare Platten zu erhalten, mußten verschiedene Flüssigkeitsmengen verimpft werden. In der Regel wurden innerhalb einer Stunde nach Versuchsende auf je 3 Parallelplatten Flüssigkeitsmengen von 0,1, 0,2, 0,4 und 0,6ml verimpft. Verdünnungsstufen wurden nicht angelegt. Die Verimpfung erfolgte mit sterilen Pipetten, wobei der Deckel nur kurzzeitig und wenig geöffnet wurde. Das Ausspateln der Keimsuspension erfolgte mit sterilen DRIGALSKI-Spateln. Für jeden Versuch wurden Kontrollplatten des Nähragars (MERCK Standard II), der Waschflüssigkeit, der DRIGALSKI-Spatel und der Pipetten angelegt. Die Bebrütung und Auszählung erfolgte wie für die Platten des ANDERSEN-Samplers.

Die Auswertung erfolgte nach der bei CAVALLI-SFORZA 1969 angegebenen Methode: danach wird für die Parallelplatten eines einheitlich verimpften Flüssigkeitsvolumens eine POISSON-Verteilung angenommen. Aus der Theorie dieser Ver-

teilung ist bekannt, daß im Durchschnitt die Varianz gleich der mittleren Koloniezahl pro Platte ist. Dieser Sachverhalt dient daher als Kriterium der Zuverlässigkeit der Zählung. Für die entsprechenden Parallelplatten jedes Versuchs wurde der Dispersionsindex χ^2 ausgerechnet. Erwies sich der Unterschied zwischen Mittelwert und Varianz als signifikant, wurden die Platten nicht in die Auswertung einbezogen. Das war in etwa 15% der insgesamt 120 Parallelplattenreihen der Fall. Die Koloniezahl pro ml Flüssigkeit ergab sich aus dem Quotienten der insgesamt ausgezählten Kolonien aller Platten zu dem auf alle Platten verimpften Flüssigkeitsvolumen. Nach Berechnung von Varianz und Standardfehler ergab sich nach Multiplikation dieses Wertes mit dem Faktor 0,24 (dieser Faktor ergibt sich aus dem Verhältnis von 60ml Waschflüssigkeit pro Standard-Impinger zu 250 l angesaugter Luft) die mittlere Anzahl keimhaltiger Kerne pro Liter Luft bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit.

c) Für die Membranfilter und die Abklatschfolien

Die Membranfilter wurden mit zwei sterilen Pinzetten den Luftfiltrationsgeräten entnommen und auf die Nährböden unter leichtem Abrollen aufgelegt, um eine Luftblasenbildung zu vermeiden. Abklatschfolien und Membranfilter werden dann infolge Kapillarwirkung von unten her mit Nährmedium durchfeuchtet. Die Keime zeigen jedoch auf Folien und Filtern ein verzögertes Wachstum, weshalb im Gegensatz zu den normal verimpften Petrischalen hier noch eine zusätzliche Zählung am 5. Tag erfolgte.

3. Ergänzende Messungen

Als Ergänzung zur Bestimmung der keimhaltigen Kerne und Keimkerne wurden regelmäßig folgende Klimafaktoren bestimmt:

im Versuchsraum Temperatur, rel. Feuchte, Luftgeschwindigkeit, CO_2 - und NH_3 -Gehalt sowie sedimentierende keimhaltige Kerne (Absetzplatten nach KOCH), in der Außenluft Windgeschwindigkeit und Luftdruck.

Die Messungen wurden mit folgenden Geräten und die Auswertung nach Anweisung der Herstellerfirmen vorgenommen:

- a) Aspirationspsychrometer, Typ 761, zur Bestimmung von Temperatur und rel. Feuchte,
- b) trockenes Katathermometer nach HILL zur Bestimmung der Luftgeschwindigkeit im Versuchsraum,
- c) Schalenwindwegmesser zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit der Außenluft
(Hersteller der Geräte a) bis c): Fa. LAMBRECHT, Göttingen),
- d) Gasspürgerät und Prüfröhrchen zur Bestimmung von CO_2 (Typ 0,01%/a) und NH_3 (Typ 5/a) im Versuchsraum
(Hersteller: Fa. DRÄGER, Lübeck).

Die angegebenen Werte sind die Mittelwerte aus 2 Messungen am Versuchsanfang und -ende. Die Gasmessungen und die Bestimmung der Windgeschwindigkeit der Außenluft stellen Einzelmessungen dar. Die Daten des Luftdrucks sind den Tagebüchern des Meteorologischen Instituts der Freien Universität entnommen.

4. Aufbau und Betrieb der Geräteanordnung für Vor- und Hauptversuche

Der Versuchsraum mit Inventar und Stellung des Gerätetisches ist auf Abb. 11 im Grundriß dargestellt. Er liegt im ersten Stock eines zum Institut für Veterinär-Hygiene gehörenden Gebäudes. Das Raumvolumen beträgt $36,8\text{m}^3$. Der Raum besitzt als Fenster eine $30 \times 40\text{cm}$ große Dachluke und dient zur Zucht und Haltung von 70 bis 90 Meerschweinchen in einem fünfetagigen Gestell für Makrolonkäfige.

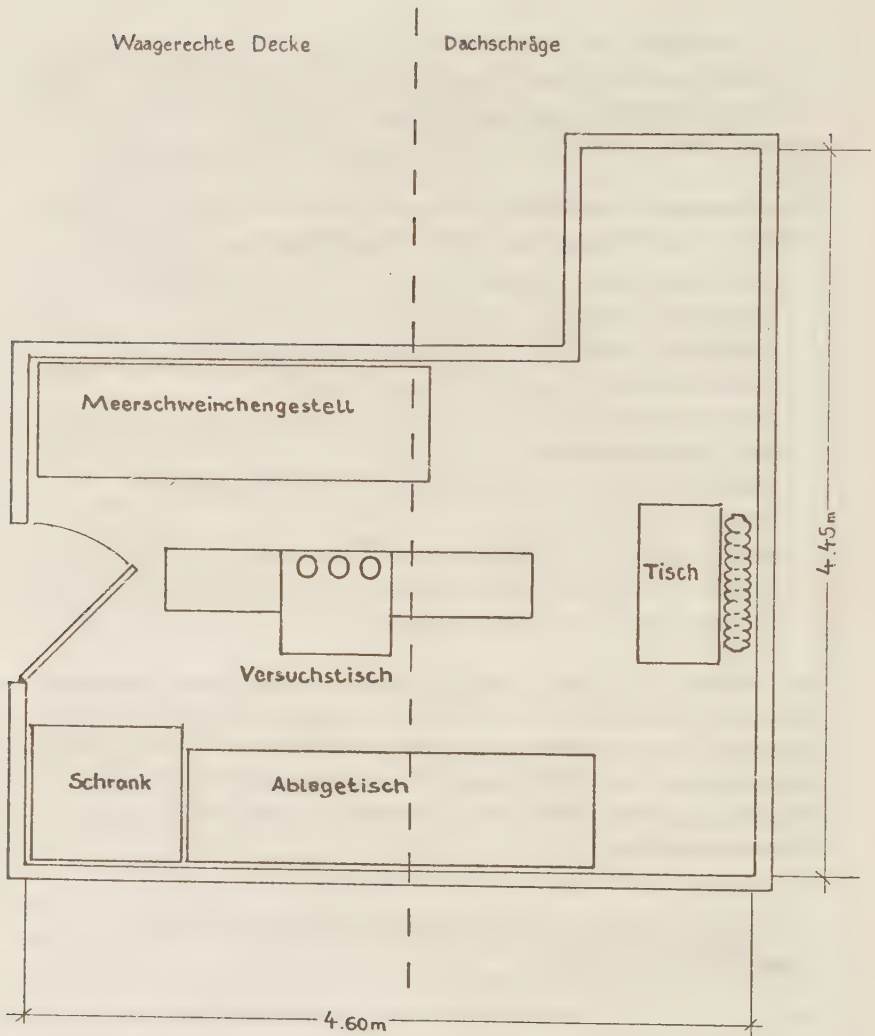


Abb.11

Grundriss des Versuchsraums

Die Tiere werden mit pelletiertem Fertigfutter unter Zufütterung von Grünfutter und Heu versorgt. Als Einstreu dienen Hobelspäne. Der Raum verfügt über keine mechanische Lüftungseinrichtung. Zur Luftversorgung wird die Dachluke in Abhängigkeit von der Witterung benutzt. Etwa 1 Stunde vor Versuchsbeginn wurden die Versuchsgeräte aufgestellt und Fenster und Tür geschlossen. Die Vorversuche wurden in der Zeit zwischen dem 15. Mai und dem 20. Oktober, die Hauptversuche in der Zeit zwischen dem 27. Oktober und 13. November durchgeführt.

Für die V o r v e r s u c h e wurde folgende Geräteanordnung benutzt:

ANDERSEN-Sampler - Wassermanometer - Auffangflasche - Regelventil - Luftpumpe - Balgengaszähler (s. Abb. 12), bei den Versuchen mit Membranfiltern:

ANDERSEN-Sampler - Wassermanometer - Auffangflasche - Luftfiltrationsgerät - Unterdruckdosenmanometer - Regelventil - Luftpumpe - Balgengaszähler.

Vor jedem Versuch wurde die Ansaugleistung der Pumpe überprüft und mit Hilfe des Regelventils auf 28,4 l/min eingestellt. Der vom Wassermanometer angezeigte Unterdruck im System lag dann i.d.R. zwischen 18-20cm Wassersäule. Die regelmäßige Kontrolle des Unterdruckes erwies sich als notwendig, da gelegentlich geringere Unterdrucke bis zu 12cm zu beobachten waren. Da dann stets die 6. Stufe des Samplers und auch die Kontroll-Membranfilter eine üppige Koloniebildung zeigten, wurde vermutet, daß bei diesen Versuchen das Ansaugsystem nicht die notwendige Druckdichtigkeit aufwies. Solche Versuche wurden von der Auswertung ausgeschlossen.

Die Geräteanordnung bei den H a u p t v e r s u c h e n entsprach der in Abb. 12 dargestellten Anordnung. Zum Betrieb des Standard-Impingers wurden angeordnet:

Standard-Impinger - Auffangflasche - Unterdruckdosen-

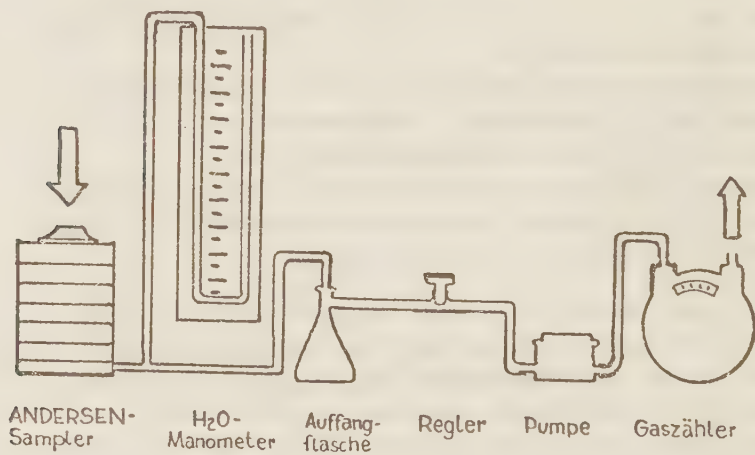
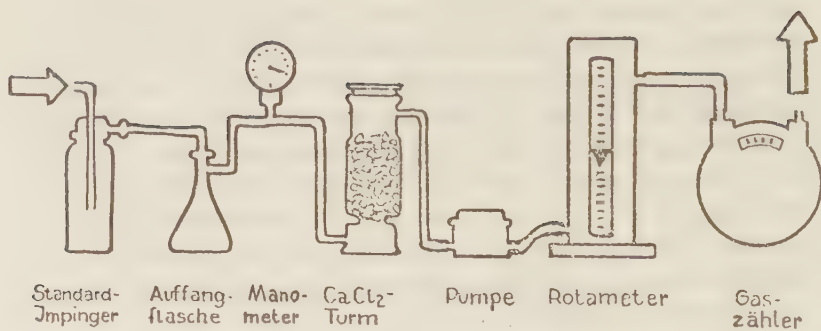


ABB. 12

Geräteaufbau für den Betrieb des ANDERSEN-Samplers
und des Standard-impingers

manometer - CaCl_2 -Trockenturm - regelbare Rotations-Öl-Pumpe 'Multifix' - Rotameter - Balgengaszähler.

Durch den ANDERSEN-Sampler wurde bei allen Hauptversuchen ein Luftvolumen von 20 l gesaugt. Die Ansaugzeit lag im Mittel bei 43sec. Der Unterdruck im System schwankte zwischen 18-20cm und betrug im Mittel 19cm Wassersäule.

Durch den Standard-Impinger wurde bei allen Hauptversuchen ein Luftvolumen von 250 l gesaugt. Die Ansaugzeit lag im Mittel bei 19,5min, der Unterdruck im Mittel bei -0,3at. Das zwischen Zähler und Pumpe befindliche 1000 l/h-Labor-Rotameter (Fa. DOSCH, Berlin) diente der Einstellung der Ansauggeschwindigkeit. Die tatsächliche Ansauggeschwindigkeit wurde aus der Ansaugzeit (Stoppuhr) und dem am Gaszähler abgelesenen Volumen errechnet.

Bei der Durchführung der Hauptversuche wurde regelmäßig folgender Versuchsablauf eingehalten:

Ablezen des Schalenwindwegmessers außen,
15min Einlauf und Einregulierung der Impinger-Pumpe,
Einstellung der Leistung der Pumpe für den ANDERSEN-Sampler,

Beginn der Probeentnahme mit dem Standard-Impinger,
 CO_2 -Messung mit dem Gasspürgerät,
Psychrometer- und Katathermometermessung,
20 l-Probeentnahme mit dem ANDERSEN-Sampler in 40
bis 45sec,

Exponieren von 3 Absetzplatten nach KOCH für je 1 min,
 NH_3 -Messung mit dem Gasspürgerät,
Psychrometer- und Katathermometermessung,
Ende der Probeentnahme mit dem Standard-Impinger nach
einer Ansaugleistung von 250 l Luft in etwa 20min,
Ablezen des Schalenwindwegmessers außen.

B. Ergebnisse der Vorversuche

Besonders die Vorversuche waren dadurch erschwert, daß nur ein ANDERSEN-Sampler zur Verfügung stand. Daher konnten die hier beschriebenen methodischen Vergleiche nicht zeitparallel, sondern nur hintereinander durchgeführt werden. Wegen der Notwendigkeit des Wechsels der Nähragarplatten in einem keimarmen Laborraum betrug der Zeitabstand zwischen 2 Versuchen mindestens 10min. Die Frage der Aussagekraft dieser Versuche wird in der Besprechung zur Diskussion gestellt.

1. Einfluß des Abstandes zwischen Nähragaroberfläche und Unterseite der Lochplatte

Wegen der Umstellung von KIMAX-Petrischalen auf ANUMBRA-Schalen beim Einsatz des ANDERSEN-Samplers sollte dieser Versuch klären, in welchem Umfang die Nachweisleistung des Gerätes durch eine unterschiedliche Nährgarmenge beeinflusst wird, da die Nährgarmenge den für den Abscheideeffekt wichtigen Abstand zwischen Nähragaroberfläche und Unterseite der Lochplatte bestimmt.

An 5 Versuchstagen wurden jeweils hintereinander 3 Luftuntersuchungen mit Nährgarmengen von 40, 45 und 50ml gemacht. Diese Nährgarmengen veränderten den Abstand zwischen Nähragaroberfläche zur Unterseite der Lochplatte von 2,5mm bei 50ml auf 3,2mm bei 45ml und 3,9mm bei 40ml. Aus den je 5 Versuchen ließen sich folgende Mittelwerte errechnen:

Nährgarmenge:	<u>40ml</u>	<u>45ml</u>	<u>50ml</u>
Nachgewiesene Kol/l Luft:	21,2	21,6	22,3

Die prozentuale Stufenverteilung ergibt sich aus Abb. 13.

Diese Ergebnisse zeigen, daß mit Verringerung der Entfernung zwischen Nähragaroberfläche und Unterseite der Lochplatte weniger eine deutliche Beeinflussung des Gesamtergebnisses die Folge ist, als vielmehr eine vermehrte Ablagerung keimhaltiger Kerne auf den Stufen 1 bis 3. Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen von ANDERSEN 1958, die er als Mittelwert aus jeweils 3 Versuchen erhielt.

2. Einfluß der Luftansauggeschwindigkeit

Die Prüfung des Einflusses der Luftansauggeschwindigkeit erwies sich als notwendig, da sich bei der Pumpenprüfung zeigte, daß die Pumpe nicht eine der Betriebsanleitung (28,4 l/min) entsprechende und keine konstante Leistung erbrachte. Auch theoretisch ist zu erwarten, daß die Luftansauggeschwindigkeit die Leistung beeinflusst, da die Luftansauggeschwindigkeit maßgeblich den im ANDERSEN-Sampler wirksamen Pralleffekt bestimmt (ANDERSEN 1958).

Insgesamt wurde in 42 Versuchen der Einfluß der Luftansauggeschwindigkeit bei verschiedener Nährgarmenge geprüft, und zwar:

Anzahl der Versuche:	12	30
Nährgarmenge:	50ml	27ml
Entfernung zwischen Nähragar und Lochplatten:	2,5mm	5,6mm

Die nachstehenden Werte sind der Mittelwert aus je 4 Versuchen:

durchschnittl. Luftansauggeschwin- digkeit in l/min:	<u>20</u>	<u>24</u>	<u>29</u>
Nährgarmenge in ml:	50	50	50
Kol/l Luft:	33,3	36,7	33,6

Die prozentuale Stufenverteilung ergibt sich aus Abb. 14.

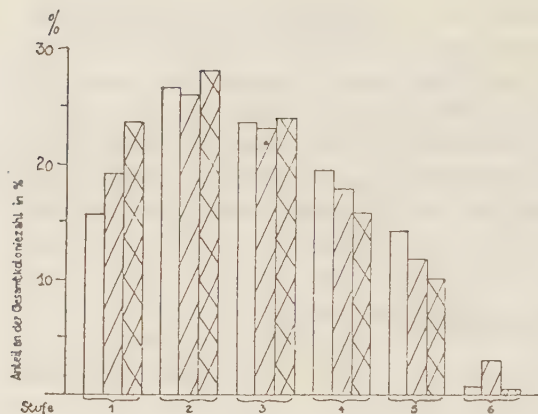


Abb. 13. Prozentuale Verteilung der nachgewiesenen Kolonien auf den 6 Stufen des ANDERSEN-Samplers bei Nährgarmengen von 40ml (unschraffiert), von 45ml (einfach schraffiert) und von 50ml (doppelt schraffiert) pro Nähragarplatte

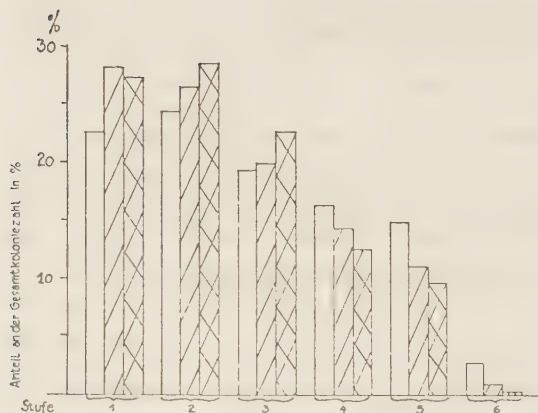


Abb. 14. Prozentuale Verteilung der nachgewiesenen Kolonien auf den 6 Stufen des ANDERSEN-Samplers bei einer einheitlichen Nährgarmenge von 50ml und wechselnden Luftgeschwindigkeiten von 20 l/min (unschraffiert), von 24 l/min (einfach schraffiert) und von 29 l/min (doppelt schraffiert)

Die folgenden Werte stellen den Mittelwert aus je 10 Versuchen dar:

durchschnittl. Luftansauggeschwin- digkeit in l/min:	<u>26</u>	<u>28</u>	<u>32</u>
Nähragarmenge in ml:	27	27	27
Kol/l Luft:	23,2	22,5	21,6

Aus den Versuchsergebnissen kann abgeleitet werden, daß bei den geprüften Variationen wiederum weniger eine Veränderung der Gesamtkoloniezahl, als vielmehr eine allmähliche Verschiebung der Stufenverteilung in dem Sinne erfolgte, daß mit Zunahme der Luftgeschwindigkeit eine vermehrte Ablagerung der keimhaltigen Kerne auf den Stufen 1 bis 3 stattfand.

3. Einfluß des Ansaugvolumens

Die Vorversuche mit unterschiedlichen Ansaugvolumina hatten zum Ziel, verschiedene Auswertmethoden anzuwenden und die auf verschiedene Weise ermittelten Ergebnisse miteinander zu vergleichen.

Nach ANDERSEN 1958 liegen auf den Nähragarplatten der Stufen 1 und 2 die Kolonien sehr verstreut und sollten daher wie üblich ausgezählt werden. Auf den Stufen 3 bis 6 stimmten die Kolonien mit dem Lochplattenmuster überein und sollten entweder nach der 'Positiven Lochmethode' oder der 'Mikroskopmethode' gezählt werden.

Die 'Positive Lochmethode' bedeutet das Auszählen der durch Koloniebildung gekennzeichneten Lochplätze entsprechend dem Lochplattenmuster. Dabei bleiben außerhalb des Lochplattenmusters liegende Kolonien unberücksichtigt, weil sie nach ANDERSEN 1958 und MAY 1964 gewöhnlich kleine keimhaltige Kerne darstellen, die infolge der Turbulenz zwischen den Düsen auf ihrem Weg zu den unteren Stufen zu früh abgelagert

wurden. Im Gegensatz zu ANDERSEN 1958 empfiehlt MAY 1964 auch die Stufen 1 und 2 in die Auswertung nach der 'Positiven Lochmethode' einzubeziehen.

Die je Nähragarplatte ermittelten Koloniezahlen werden nach der 'Positiven-Loch-Umrechnungstabelle' (Konversionstabelle) umgerechnet. Diese Tabelle ist nach dem Prinzip aufgebaut, daß mit zunehmender Partikelzahl die Wahrscheinlichkeit abnimmt, daß die nächste Partikel durch ein freies Loch trifft, d.h. es findet wahrscheinlich eine Überlagerung der Partikeln statt. Nach ANDERSEN hat bei Besetzung von 9/10 der Lochplätze mit je einer oder mehreren Partikeln die nächste Partikel eine Chance von 1:10, ein freies Loch zu passieren. Zu diesem Zeitpunkt sind mithin 10 weitere Partikeln notwendig, um die Zahl der positiven Lochplätze um 1 zu erhöhen. Für die 400 Löcher einer Platte ergibt sich nach der Tabelle somit für die Zahl 360 eine vermutliche Koloniezahl von 921, für 361 entsprechend 931 usf.

Die Grundformel für die Aufstellung der Umrechnungstabelle lautet:

$$P_r = N \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{N-1} + \frac{1}{N-2} \dots \frac{1}{N-r+1} \right)$$

Dabei ist P die erwartete Zahl, die notwendig ist, um r Lochplätze positiv zu machen. N ist 400 (die Anzahl der Löcher pro Stufe). Die zu erwartende Zahl P wird von ANDERSEN außerdem noch um 1 Korrekturglied erweitert, daß sich aus der Hälfte der Differenz der zu erwartenden Zahl für r und r+1 zusammensetzt. Die Konversionstabelle ist als Tab. 2 dargestellt. Bei Benutzung dieses Verfahrens sind nach ANDERSEN pro Stufe Zahlen von 1200 bis 1500 (das entspricht 381 bis 391 positiven Lochplätzen) ziemlich zuverlässig.

Bei starkem Keimgehalt der Luftprobe empfiehlt ANDERSEN

r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
1	1	41	43	81	91	121	144	161	205	291	270	241	369	281	495	321	619	361	931
2	2	42	44	82	92	122	146	162	208	292	281	242	375	292	498	322	626	362	942
3	3	43	45	83	93	123	147	163	209	293	283	243	371	293	499	323	631	363	953
4	4	44	47	84	94	124	148	164	211	294	285	244	377	294	495	324	636	364	964
5	5	45	48	85	96	125	150	165	213	295	287	245	379	295	499	325	640	365	974
6	6	46	49	86	97	126	151	166	214	296	289	246	382	296	502	326	645	366	986
7	7	47	50	87	98	127	153	167	216	297	292	247	384	297	506	327	650	367	998
8	8	48	51	88	99	128	154	168	218	298	294	248	387	298	508	328	656	368	1010
9	9	49	52	89	101	129	156	169	220	299	296	249	390	299	512	329	662	369	1023
10	10	50	53	90	102	130	157	170	221	210	298	250	392	290	516	330	667	370	1036
11	11	51	55	91	103	131	159	171	223	211	300	251	395	291	520	331	703	371	1050
12	12	52	56	92	105	132	160	172	225	212	302	252	398	292	524	332	708	372	1064
13	13	53	57	93	106	133	162	173	227	213	304	253	400	293	527	333	715	373	1078
14	14	54	58	94	107	134	163	174	228	214	306	254	403	294	531	334	721	374	1093
15	15	55	59	95	108	135	165	175	230	215	308	255	406	295	535	335	727	375	1109
16	16	56	60	96	110	136	166	176	232	216	311	256	409	296	539	336	733	376	1125
17	17	57	61	97	111	137	168	177	234	217	313	257	411	297	543	337	739	377	1142
18	18	58	63	98	112	138	169	178	236	218	315	258	414	298	547	338	746	378	1160
19	19	59	64	99	114	139	171	179	237	219	317	259	417	299	551	339	753	379	1179
20	20	60	65	100	115	140	172	180	239	220	319	260	420	300	555	340	759	380	1198
21	22	61	66	101	116	141	174	181	241	221	322	261	423	301	559	341	766	381	1219
22	23	62	67	102	118	142	175	182	243	222	324	262	426	302	563	342	772	382	1241
23	24	63	69	103	119	143	177	183	245	223	326	263	429	303	567	343	779	383	1263
24	25	64	70	104	120	144	179	184	246	224	328	264	432	304	571	344	786	384	1288
25	26	65	71	105	122	145	180	185	248	225	331	265	435	305	575	345	793	385	1314
26	27	66	72	106	123	146	182	186	250	226	333	266	437	306	579	346	801	386	1341
27	28	67	73	107	125	147	183	187	252	227	335	267	440	307	584	347	808	387	1371
28	29	68	75	108	126	148	185	188	254	228	338	268	443	308	588	348	816	388	1403
29	30	69	76	109	127	149	186	189	256	229	340	269	447	309	592	349	824	389	1438
30	31	70	77	110	129	150	188	190	258	230	342	270	450	310	597	350	832	390	1476
31	32	71	78	111	130	151	190	191	260	231	345	271	453	311	601	351	840	391	1518
32	33	72	79	112	131	152	191	192	262	232	347	272	456	312	606	352	848	392	1565
33	34	73	81	113	133	153	193	193	263	233	349	273	459	313	610	353	857	393	1619
34	36	74	82	114	134	154	194	194	265	234	352	274	462	314	615	354	865	394	1681
35	37	75	83	115	136	155	196	195	267	235	354	275	465	315	620	355	874	395	1754
36	38	76	84	116	137	156	198	196	269	236	357	276	468	316	624	356	883	396	1844
37	39	77	86	117	138	157	199	197	271	237	359	277	472	317	629	357	892	397	1961
38	40	78	87	118	140	158	201	198	273	238	362	278	475	318	634	358	902	398	2127
39	41	79	88	119	141	159	203	199	275	239	364	279	478	319	639	359	911	399	2427
40	42	80	89	120	143	160	204	200	277	240	367	280	482	320	644	360	921	400	*

Tab. 2. Umrechnungstabelle (Konversionstabelle) für besetzte Lochplätze der Stufen 3 bis 6; ausgezählte besetzte Lochplätze r mit den entsprechenden umgerechneten Werten P. Die quantitative Begrenzung für P liegt bei 2628 (r=400).

die 'Mikroskopmethode'. Bei Anwendung dieser Methode sollten die Nähragarplatten solange bebrütet werden, bis Mikrokolonien unter dem Mikroskop erkennbar und zählbar seien. Diese Mikrokolonien müßten dann sofort, noch bevor sie sich vermischten, auf einigen Lochplätzen ausgezählt werden. Die Summe für die ganze Nähragarplatte errechnet sich aus der durchschnittlichen Zahl von Mikrokolonien multipliziert mit 400. Nach diesem Verfahren könnten bis zu 50 000 Kolonien als Summe aus allen 6 Stufen ermittelt werden.

Insgesamt wurden 15 Versuche durchgeführt, davon je 5 mit einem Luftvolumen von 10 l, 30 l und 100 l. Die Auswertung nach der 'Mikroskopmethode' erfolgte i.d.R. nach 24 stündiger Bebrütungszeit. Die Auswertung der Versuche mit einem Luftvolumen von 10 l erfolgte nach der 'Positiven Lochmethode', da unter dem Mikroskop keine Überlagerungen, d.h. dicht beieinanderliegende Mikrokolonien, festgestellt werden konnten. Die Auswertung der anderen Versuche erfolgte unter einem ZEISS-Biokularmikroskop bei 160 facher Vergrößerung. Je nach durchgesaugter Luftmenge und Luftkeimgehalt ließen sich zwischen 3 bis 15 Mikrokolonien pro Lochplatz auf den beiden obersten Stufen ermitteln. Auf den Nähragarplatten der Stufen 3 bis 5 fanden sich höchstens 3 Mikrokolonien pro Lochplatz. Die Stufe 6 war i.d.R. unbesetzt. Nach Umrechnung der Platten 3 bis 6 nach der Konversionstabelle ergaben sich folgende Werte:

Luftvolumen:	<u>10 l</u>	<u>30 l</u>	<u>100 l</u>
Kol/l Luft:	34,4	29,2	34,5

Daraus ergibt sich eine Übereinstimmung der Mittelwerte der Versuche mit Luftmengen von 10 l und 100 l. Das Ergebnis bei einer Ansaugmenge von 30 l Luft lag dagegen um 15,5% tiefer. Wegen der geringen Zahl der Versuchsansätze und wegen der starken Abweichungen zwischen den Einzelergebnissen wurde von einer statistischen Bewertung dieses Befundes abgesehen.

Unter den Gegebenheiten bei den eigenen Versuchen scheinen beide Auswertverfahren gleichwertig zu sein. Die 'Positive Lochmethode' erwies sich bei den Vergleichen als zähltechnisch besonders einfach. Daher wurde für die Hauptversuche eine Luftansaugmenge von 20 l gewählt.

4. Wirkung des kegelförmigen Deckels

Nach den Erfahrungen von MAY 1964 vergrößert sich die Zahl der nachgewiesenen Kolonien, wenn der ANDERSEN-Sampler ohne seinen kegelförmigen Deckel betrieben wird. 9 orientierende Vergleichsmessungen bestätigten diese Angaben. Die nachgewiesene Gesamtzahl lag im Mittel bei Benutzung des Deckels bei 93,9% (Umrechnung der Stufen 3 bis 6) bzw. 85,4% (Umrechnung der Stufen 1 bis 6) der Koloniezahl, die ohne Benutzung des Deckels erzielt wurde. Wegen dieses deutlichen Einflusses des Deckels wurde bei den Hauptversuchen die Fragestellung miteinbezogen.

5. Leistungsprüfung durch Membranfilter

ANDERSEN 1958 bezeichnet die Möglichkeit, daß Mikroorganismen den ANDERSEN-Sampler passieren, also nicht auf dem Nähragar niedergeschlagen werden, sondern mit dem Luftstrom das Gerät wieder verlassen, als 'Durchschlüpfen'. Einen solchen Vorgang konnte er bei seinen Untersuchungen nicht beobachten.

Durch Benutzung von nachgeschalteten Membranfiltern sollte diese Angabe durch 23 Vorversuche überprüft werden. Dabei wurden verschiedene Filtertypen benutzt: bei 6 Versuchen der MF-Typ SM 11002, bei 1 Versuch der MF-Typ SM 11003, bei 8 Versuchen der MF-Typ 11004 und bei 8 Versuchen der MF-Typ 11006. In keinem Fall konnte auch bei Veränderung der Luftgeschwindigkeit ein Koloniewachstum auf den Filtern beobachtet werden, so daß die Angaben von ANDERSEN auch für die relativ kernreiche Situation in Ställen bestätigt werden können.

Nicht dagegen ließ sich in den Vorversuchen die Meinung von ANDERSEN bestätigen, daß im ANDERSEN-Sampler keine 'Wandverluste' auftreten. Wegen der Bedeutung dieser Frage für die Beurteilung des Samplers wurden die Abklatschversuche auch bei den Hauptversuchen fortgeführt. Die erhobenen Befunde aus Vor- und Hauptversuchen sind im Abschnitt III C 5 zusammengefaßt.

C. Ergebnisse der Hauptversuche

1. Meßbedingungen

Die Bedingungen, unter denen die einzelnen Hauptversuche durchgeführt wurden, sind den Tab. 3 und 4 zu entnehmen. Während der Hauptversuche lag die durchschnittliche Temperatur bei $23,2^{\circ}\text{C}$ (tiefster Wert $20,8^{\circ}\text{C}$, höchster Wert $25,4^{\circ}\text{C}$) und die durchschnittliche rel. Feuchte bei 46,4% (tiefster Wert 35%, höchster Wert 64%). Die Luftgeschwindigkeit im Versuchsraum betrug im Mittel 5,1cm/s (tiefster Wert 1cm/s, höchster Wert 7cm/s), die Windgeschwindigkeit der Außenluft bei 126cm/s (tiefster Wert 38cm/s, höchster Wert 286cm/s). Der durchschnittliche Luftdruck lag bei 1020,66mb (tiefster Wert 1002mb, höchster Wert 1039mb). Die Konzentration an Gasen in der Stalluft lag für NH_3 im Durchschnitt bei 4,8ppm (tiefster Wert 1,5ppm, höchster Wert 12,5ppm), für CO_2 durchschnittlich bei 0,24Vol% (tiefster Wert 0,15Vol%, höchster Wert 0,56Vol%). Der durchschnittliche Mittelwert aus je 3 Nähragarplatten pro Versuch im KOCH'schen Absetzverfahren lag bei 92,8 Kolonien (tiefster Wert 32 Kolonien, höchster Wert 252 Kolonien) bei einheitlicher Exposition von 1 Minute.

Vers. Nr.	Tempe- ratur °C	rel. Feuchte %	Luftgeschwindigkeit	
			innen cm/s	- außen cm/s
1	23,4	50	6	103
2	23,6	49	6	103
3	23,0	43	7	55
4	23,2	43	6	55
5	22,1	49	5	38
6	22,8	49	6	38
7	23,4	41	5	58
8	24,2	43	5	58
9	22,7	56	6	146
10	23,1	56	4	146
11	22,2	57	4	186
12	22,9	64	4	186
13	21,7	56	4	144
14	22,2	56	4	144
15	22,3	46	6	222
16	22,4	48	5	222
17	20,8	48	6	186
18	21,4	47	7	186
19	23,2	45	5	286
20	23,9	47	5	286
21	21,7	36	5	147
22	22,6	38	3	147
23	23,3	35	5	78
24	24,0	36	5	78
25	23,9	38	5	83
26	24,7	39	5	83
27	24,4	44	5	80
28	24,8	42	7	80
29	25,0	47	1	80
30	25,4	43	5	80
Mittelwert 23,2		46,4	5,1	126

Tab. 3. Meßergebnisse für Temperatur, rel. Feuchte und Luftgeschwindigkeit bei 30 Hauptversuchen

Vers. Nr.	NH ₃ ppm	CO ₂ Vol%	Luftdruck mb	KOCH'sche Absetzplatten Kol/Nähragarpl.
1	-	0,4	1039	-
2	-	0,4		-
3	4	0,56	1037	68,7
4	4	0,56		39,0
5	2,5	0,36	1033	59,7
6	2,5	0,36		61,3
7	10	0,18	1029	162,7
8	10	0,18		171,7
9	2,5	0,2	1028	115,7
10	2,5	0,2		45,3
11	2,5	0,17	1023	61,7
12	2,5	0,31		40,3
13	5	0,20	1017	32,7
14	5	0,20		138,0
15	6,5	0,20	1003	46,0
16	6,5	0,20		68,7
17	12,5	0,15	1002	252,0
18	12,5	0,15		204,0
19	1,5	0,22	1015	98,3
20	1,5	0,22		81,7
21	3,0	0,15	1023	125,7
22	3,0	0,15		105,3
23	2,5	0,16	1016	94,7
24	2,5	0,16		84,3
25	5,0	0,18	1015	60,7
26	5,0	0,18		72,3
27	5,0	0,18	1016	89,3
28	5,0	0,18		48,3
29	4,0	0,23	1014	72,3
30	4,0	0,23		97,7
Mittelwert 4,8		0,24	1020,66	92,8/min

Tab. 4. Meßergebnisse für Ammoniak, Kohlendioxid, Luftdruck und Absetzkeime bei 30 Hauptversuchen

2. Nachgewiesene Kolonien/l Luft

Die auf Kol/l Luft umgerechneten Untersuchungsergebnisse mit dem ANDERSEN-Sampler und dem Standard-Impinger finden sich in Tab. 5. Die Werte für den ANDERSEN-Sampler sind die nach der 'Positiven Lochmethode' gezählten Kolonien mit Umrechnung des Zählergebnisses der Stufen 3 bis 6 nach der Konversionstabelle. Die Versuche sind chronologisch geordnet. Um die Wirkung von Fremdeinflüssen zu mindern, wurde von Versuchstag zu Versuchstag beim ANDERSEN-Sampler gewechselt zwischen der Reihenfolge mit Deckel bzw. ohne Deckel. Die Werte für die zeitparallelen Messungen mit dem Standard-Impinger stehen in Spalte 5 der Tab. 5. Sie stellen nach der im Abschnitt 'Methodik' beschriebenen Berechnung der 95%igen Vertrauensgrenzen für den wahren Wert nunmehr die mittlere Anzahl keimhaltiger Kerne dar - ausgedrückt in Kol/l Luft -, die bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit zwischen den angegebenen Koloniezahlen plus/minus der folgenden Zahl liegt.

Im Durchschnitt wurden bei den Versuchen mit dem ANDERSEN-Sampler mit seinem kegelförmigen Deckel 37,3 Kol/l Luft gezählt (tiefster Wert 15,8 Kol/l Luft, höchster Wert 103,9 Kol/l Luft). Die durchschnittliche Koloniezahl der zeitparallelen Impinger-Messungen liegt bei 128,2 Kol/l Luft (tiefster Wert 18,1 Kol/l Luft, höchster Wert 727,5 Kol/l Luft). Setzt man den durchschnittlichen Impinger-Wert mit 100% an, dann liegen die dazugehörigen ANDERSEN-Sampler-Werte mit 37,3% im Mittel um 62,7% niedriger als die dazugehörigen Impinger-Werte.

Tab. 5.

Datum	Vers. Nr.	ANDERSEN-Sampler mit Deckel	ohne Deckel	Standard-Impinger
1	2	3	4	5
27.X.	1	55,5		69,9 $\pm$ 4,9
27.X.	2		56,0	47,4 $\pm$ 4,0
28.X.	3		44,2	65,2 $\pm$ 7,1
28.X.	4	47,4		76,0 $\pm$ 6,8
29.X.	5	57,3		60,4 $\pm$ 5,7
29.X.	6		47,0	82,6 $\pm$ 10,4
30.X.	7*		345,2*	379,4 $\pm$ 10,9*
30.X.	8*	119,1*		266,6 $\pm$ 8,6*
3.XI.	9		30,6	45,3 $\pm$ 4,8
3.XI.	10	20,4		18,1 $\pm$ 3,0
4.XI.	11	34,5		72,4 $\pm$ 7,8
4.XI.	12		34,8	47,5 $\pm$ 4,0
5.XI.	13		25,0	35,7 $\pm$ 4,3
5.XI.	14	15,8		24,1 $\pm$ 3,3
6.XI.	15	47,3		150,4 $\pm$ 6,0
6.XI.	16		40,3	92,0 $\pm$ 11,9
8.XI.	17		143,4	914,4 $\pm$ 53,0
8.XI.	18	103,9		727,5 $\pm$ 27,3
10.XI.	19		64,0	212,3 $\pm$ 7,3
10.XI.	20	48,5		78,7 $\pm$ 4,5

Tabellenfortsetzung s. nächste Seite

Datum	Vers. Nr.	ANDERSEN-Sampler mit Deckel	ohne Deckel	Standard-Impinger
1	2	3	4	5
11.XI.	21	64,0		121,5 ± 7,7
11.XI.	22		61,0	100,0 ± 10,1
12.XI.	23		46,5	58,7 ± 5,5
12.XI.	24	29,6		56,8 ± 5,6
12.XI.	25	30,2		41,7 ± 3,8
12.XI.	26		28,6	35,2 ± 3,0
13.XI.	27		80,4	164,4 ± 9,6
13.XI.	28	58,9		153,4 ± 8,2
13.XI.	29	56,7		143,8 ± 7,9
13.XI.	30		53,0	159,4 ± 14,5

Tab. 5. Die in 30 Hauptversuchen mit dem ANDERSEN-Sampler und mit dem Standard-Impinger pro Liter Luft nachgewiesenen Kolonien

* Die mit Sternchen gekennzeichneten Versuchsergebnisse sind in die Berechnungen von Durchschnittswerten und Vergleichswerten nicht miteinbezogen worden. Dazu siehe Besprechung unter IV 4.

3. Stufenverteilung im ANDERSEN-Sampler mit Deckel

Im Durchschnitt von 14 Versuchen mit dem ANDERSEN-Sampler mit seinem Deckel ergab sich als mittlere Koloniezahl auf den einzelnen Nachweisstufen und in Prozenten der Verteilung folgende Stufenverteilung:

	<u>Koloniezahl</u>	<u>prozentuale Verteilung</u>
1. Stufe	189,5	19,8
2. "	201,2	21,0
3. "	238,6	24,9
4. "	191,5	20,0
5. "	132,6	13,8
6. "	4,6	0,5
	958	100,0

Vergleicht man die Stufenverteilung paarweise, wie es wegen der im Literaturteil dargestellten Größenverteilung keimhaltiger Kerne im Hinblick auf ihre Retentionswirkung im Atmungstrakt sinnvoll erscheint, so kann man feststellen, daß hinsichtlich der Anzahl auf den Stufen 3 und 4 die meisten Kerne (44,9%) abgelagert werden, mit geringem Abstand folgen die Stufen 1 und 2 (40,8%) und mit weitem Abstand die Stufen 5 und 6 (14,3%).

4. Befundunterschiede mit und ohne Deckel

Bei einem Vergleich der mittleren Koloniezahl/l Luft der Sampler-Versuche mit und ohne Deckel ergeben sich bei 14 Wertepaaren gemäß Tab. 5 folgende Zahlen:

	<u>mit Deckel</u>	<u>ohne Deckel</u>
durchschnittl. Koloniezahl/l Luft	47,8	53,9
in Prozent	88,8	100,0

Die Ausbeute an keimhaltigen Kernen scheint bei den Versuchen ohne Deckel um 11,2% besser zu sein als bei den Versuchen mit Deckel. Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Vorversuche.

Bei diesem Vergleich der Versuche mit und ohne Deckel muß aber berücksichtigt werden, daß bei den Hauptversuchen ein Effekt zu beobachten war, der während der Vorversuche nicht festgestellt werden konnte, daß nämlich im Gegensatz zum 1. Versuch eines Versuchstages jeder 2. Versuch unabhängig davon, ob mit oder ohne Deckel gearbeitet wurde, in seinem Ergebnis niedriger lag. Diese Differenz zum 1. Versuch lag bei den 2. Sampler-Versuchen bei durchschnittlich 17,3% und bei den Standard-Impinger-Versuchen im Mittel bei 21,2%. Hierauf wird in der Besprechung eingegangen.

5. Abklatschversuche

Nach 10 Vorversuchen, davon 5 Versuchen mit und 5 Versuchen ohne Trichter, und nach sämtlichen Hauptversuchen wurden Abklatschuntersuchungen nach der Methode von KANZ 1964 vorgenommen. Nach jedem Versuch wurden gesondert abgeklatscht: die Ober- und Unterseite der Lochplatten der 1. und 2. Stufe, der Rand des oberen und unteren Stufenteils der 1. und 2. Stufe, die Oberseite der Lochplatte der 3. und 4. Stufe sowie Kontrollabklatschversuche zur Prüfung des Sterilisationseffektes der vor jedem Versuch vorgenommenen Abflammssterilisation, die im Abschnitt III A 1 a beschrieben ist. Nach den Versuchen mit dem Sampler ohne seinen kegelförmigen Deckel wurde die Oberseite nicht abgeklatscht, um keine sedimentierten Kerne in das Verfahren einzubeziehen.

Bei den Vorversuchen wurden insgesamt 100 und bei den Hauptversuchen insgesamt 180 Abklatschuntersuchungen vorgenommen. Die Abklatschuntersuchungen der Oberseite der Lochplatte der 3. und 4. Stufe sowie die Abklatschversuche zur Prüfung des Sterilisationseffektes waren stets negativ. Die Aus-

wertung der übrigen Versuche erwies sich deshalb als besonders schwierig, weil durch die hohe Feuchtigkeit der Folien und des Nähragars sich oftmals nur Schwarmkeime vermehrten oder anstatt zählbarer Kolonien nur schmierige Flecken erkennbar waren. Übereinstimmend zeigte sich jedoch, daß bei allen Versuchen mit und ohne Deckel die Stufen 1 und 2 mehr oder weniger stark kontaminiert waren. Diese Kontamination läßt sich der Größenordnung nach mit folgendem System bewerten:

+++ stark kontaminiert	(ca. 20 Kol/10cm ² und mehr)
++ schwach	" (ca. 5 bis 20 Kol/10cm ²)
+ gelegentlich	" (ca. 4 Kol/10cm ² und darunter)

	<u>mit Deckel</u>	<u>ohne Deckel</u>
Oberseite der 1. Stufe	+++	nicht geprüft
Unterseite der 1. Stufe	+ bis ++	+ bis ++
Oberseite der 2. Stufe	++	+++
Unterseite der 2. Stufe	+	+

Ausgewertet werden konnten:

bei den V o r v e r s u c h e n 24 Abklatschpräparate der 1. und 2. Stufe bei den Versuchen mit Deckel und 28 Abklatschpräparate der 1. und 2. Stufe bei den Versuchen ohne Deckel,

bei den H a u p t v e r s u c h e n mit Deckel 60 Abklatschpräparate und bei den Versuchen ohne Deckel 37 Abklatschpräparate der Stufen 1 und 2.

In Prozent zur Gesamtzahl der gezählten Kolonien aller Stufen ergab sich für die beiden obersten Stufen des ANDERSEN-Samplers folgender Wandverlust:

	<u>mit Deckel</u>	<u>ohne Deckel</u>
Vorversuche	46,6%	36,9%
Hauptversuche	43,0%	29,5%
Mittelwert	44,8%	33,2%

Der in der Spalte 'ohne Deckel' genannte Wert liegt um etwa 10% tiefer als der mit ca. 45% ermittelte 'mit Deckel'-Wert. Dies ist darin begründet, daß bei den 'ohne-Deckel'-Versuchen die Oberfläche der Lochplatte 1, die regelmäßig hoch kontaminiert war, nicht in die Untersuchung und damit auch nicht in die Auswertung einbezogen worden ist. Legt man der Kalkulation die nach der Konversionstafel umgerechneten Koloniezahlen zugrunde, so verringert sich der Wandverlust um ca. 10%.

IV. B e s p r e c h u n g

1. Vergleich der Ergebnisse des ANDERSEN-Samplers mit den Ergebnissen des Standard-Impingers

Im Durchschnitt liegen bei 28 Hauptversuchen die Ergebnisse des ANDERSEN-Samplers um etwa 63% niedriger als die entsprechenden, mit 100% angesetzten Werte für den Standard-Impinger. Unter Bezug auf Abb. 15, die die Werte des Standard-Impingers als Funktion der Werte des ANDERSEN-Samplers darstellt, muß diese Feststellung relativiert werden. Aus Abb. 15 kann man erkennen, daß beide Geräte hinsichtlich ihrer Tendenz übereinstimmen, d.h. niedrigen und hohen Werten des ANDERSEN-Samplers entsprechen niedrige und hohe Werte des Standard-Impingers. Im Größenbereich bis zu etwa 50 Kol/l Luft zeigt sich eine Annäherung der Ergebnisse mit Abweichungen bis zu etwa 20% vom Standard-Impinger-Wert. Oberhalb 50 Kol/l Luft liegen die Werte für den Standard-Impinger jedoch erheblich höher.

In Übereinstimmung mit den Befunden von MAY 1964 und von LIDWELL und NOBLE 1965 ist zu vermuten, daß die hohe Koloniedichte auf den Stufen 1 und 2 zu diesem schlechten Ergebnis wesentlich beigetragen hat.

Besonders ab 40 Kol/l Luft, was einer Gesamtzählung im ANDERSEN-Sampler von 800 und mehr Kolonien entspricht, ist eine Auswertung insbesondere der beiden obersten Stufen schwierig. Wegen der Lochgröße und der geringen Luftgeschwindigkeit entspricht das Koloniemuster hier nicht dem Lochmuster, sondern die Kolonien sind ungleichmäßig verstreut und z.T. sehr dicht beieinander. Infolge des raschen Zusammenfließens der Kolonien ist bisweilen auch nur eine einzige Zählung möglich. Deshalb können in diesen Fällen, auch unter Anwendung der 'Mikroskopmethode', jene Keime nicht erfaßt werden, die langsam wachsen. Eine Umrechnung der Zählung der Stufen 1 und 2 nach der Konversionstabelle,

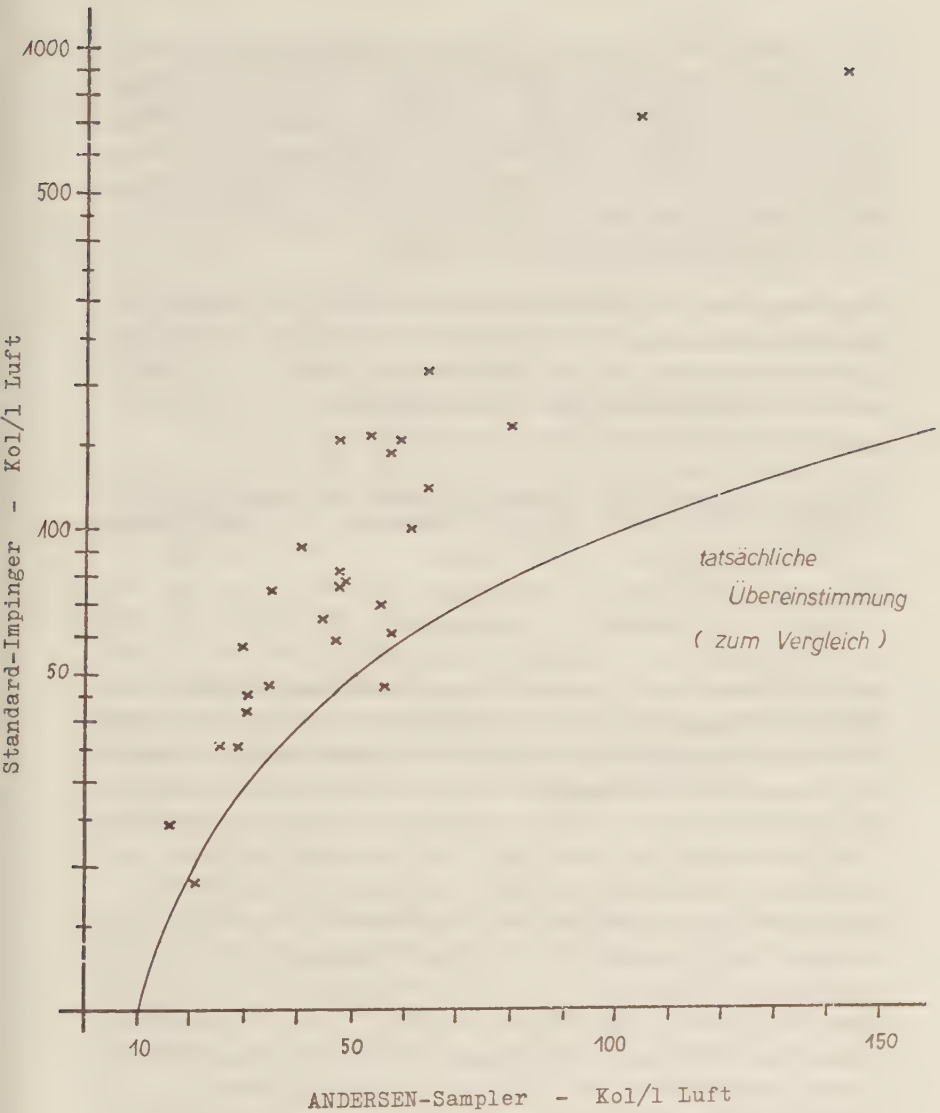


Abb. 15. Die Werte des Standard-Impingers als Funktion der Werte des ANDERSEN-Samplers (Vergleich der Ergebnisse aus 28 Hauptversuchen)

wie sie MAY 1964 vornimmt, unterblieb deshalb, weil die Konversionstabelle nach ANDERSEN 1958 nur für die Stufen 3 bis 6 Gültigkeit hat, auf denen das Koloniemuster dem Lochmuster entspricht und demzufolge Zählungen über 400 (Anzahl der Löcher) nicht möglich sind. Auf den Stufen 1 und 2 konnten dagegen in den eigenen Versuchen bis 600 und mehr Kolonien ausgezählt werden.

Unterteilt man die erhobenen Befunde nach der nachgewiesenen Koloniegesamtzahl, zu der sich die Dichte auf den ersten beiden Stufen i.d.R. proportional verhält, so läßt sich die Abhängigkeit des Gesamtergebnisses von der Koloniedichte verdeutlichen:

<u>Zahl der Versuche</u>	<u>Dichte in Kol/l Luft</u>	<u>Nachweis-Verhältnis zwischen Standard-Impinger und ANDERSEN-S.</u>	
10	unter 41	100%	61,8%
10	41 - 57	100%	53,7%
8	über 57	100%	25,7%

Als weiterer Grund für die schlechte Nachweisleistung des ANDERSEN-Samplers sind die 'Wandverluste' zu nennen. Durch Abklatschversuche konnte ermittelt werden, daß sie etwa 44% der auf den Nähragarplatten der 6 Stufen des Samplers gezählten Kolonien erreichen. Unter Einbeziehung der Befunde von MAUNZ und KANZ 1969, die feststellten, daß das einmalige Abklatschen von Metallflächen nur etwa knapp ein Drittel der tatsächlichen Zahl erfaßt, ließe sich errechnen, daß die Wandverluste etwa gleichhoch, wenn nicht sogar höher (rechnerisch 1,4 fach) liegen als die auf den Nähragarplatten ausgezählten Kolonien. Diese Feststellung entspricht in ihrer Größenordnung den Untersuchungsergebnissen von MAY 1964. Bezieht man die mit dem Faktor 3 multiplizierten Wandverluste in das Ergebnis des ANDERSEN-Samplers ein, dann übertrifft es in den meisten Fällen die mit dem Impinger nachgewiesenen Koloniezahlen.

Die eigenen Versuche konnten nicht klären, auf welche Ursache dieser hohe Wandverlust zurückzuführen ist. Zwar ergaben die Abklatschuntersuchungen der Versuche mit Deckel eine starke Kontamination der Oberseite der Lochplatte der ersten Stufe, dafür erwies sich aber bei den Versuchen ohne Deckel die Oberseite der 2. Stufe stärker kontaminiert als die 2. Stufe bei Versuchen mit Deckel. Es dürften daher insbesondere die anderen von MAY geprüften Faktoren, wie die unterschiedlichen Druckverhältnisse auf den beiden oberen Stufen, die durch die Anordnung der Löcher bewirkte Interferenz und der wahrscheinlich hohe Anteil keimhaltiger Riesenkerne im Versuchstierstall u.a. den Wandverlust bewirkt haben. Der Einfluß des kegelförmigen Deckels des ANDERSEN-Samplers auf das Ergebnis ist im Abschnitt IV 3 mitdargestellt.

Es sind mir in der Literatur außer den Versuchen von ANDERSEN 1958 keine Vergleichsmessungen zwischen dem ANDERSEN-Sampler und dem Waschverfahren bekannt, mit denen die eigenen Befunde verglichen werden könnten. ANDERSEN fand unter Aerosolkammerbedingungen bei Vergleichsmessungen zwischen dem AGI-4 und dem Sampler, daß das Waschverfahren nur etwa 40 bis 50% der Ausbeute lieferte, die der ANDERSEN-Sampler erbrachte.

Die eigenen, unter völlig anderen Bedingungen durchgeführten Versuche und die möglicherweise auch durch diese anderen Bedingungen verursachten Wandverluste, die zum Beispiel ANDERSEN selbst bei Sampler-Versuchen unter Aerosolkammerbedingungen nicht feststellen konnte, erlauben einen Vergleich dieser Ergebnisse nur bedingt. Es ist auch weiter zu berücksichtigen, daß möglicherweise beide Vergleichsmessungen durch die Benutzung verschiedener Impinger (TYLER und SHIPE 1959), durch Faktoren bei der Probeentnahme und bei der Auswertung der Ergebnisse neben den anderen Versuchsbedingungen hinsichtlich ihres Ergebnisses maßgeblich

beeinflusst wurden. Die Auswirkung solcher Faktoren auf das Versuchsergebnis wird ausführlich behandelt von SCHMIDT 1963, ANDERSON und COX 1967, KEMPMANN 1970, KNOCHE 1971, WERNERY 1971 u.a.

Es erscheinen mir jedoch die Überlegungen, die ANDERSEN zu den Vergleichsmessungen zwischen beiden Verfahren bewogen, von Interesse. ANDERSEN war der Ansicht, wenn das Ergebnis der Waschverfahren als Zahl isolierter Bakterienzellen zu verstehen sei und das Ergebnis der Slit-Sampler-Verfahren als Zahl keimhaltiger Kerne, dann müßten beide Verfahren unter der Voraussetzung, daß die Aerosolprobe nur isolierte Bakterienzellen enthielte, im Ergebnis der Untersuchung gleiche Befunde liefern. ANDERSEN zog aus seinen Versuchsergebnissen den Schluß, daß das Impinger-Verfahren offensichtlich die Zahl der vermehrungsfähigen Keime reduziere.

2. Methodische Begrenzung des aufgezeigten Vergleichs

Es gehört u.a. zur Fragestellung dieser Arbeit, inwieweit die von mir benutzten Verfahren hinsichtlich ihrer Leistung zu beurteilen seien. Eine solche Beurteilung kann meines Erachtens aber nicht allein anhand der Ergebnisse erfolgen, sondern muß auch die Aussageart der benutzten Verfahren berücksichtigen. Dies sei anhand eines vereinfachten Schemas verdeutlicht:

Vereinfachtes Beurteilungsschema:

1. Unter der Annahme, daß Luftkeime überwiegend isolierte Zellen darstellen:

	<u>ANDERSEN-S.</u>	<u>Standard-Imp.</u>
Aussageart:	Luftkeimsammelgerät	
Ergebnis:	weniger Kol.	mehr Kol.
Eignung:	weniger geeignet	geeignet
Wirkung anderer Faktoren:	+	
Ergebnis:	mehr Kol.	weniger Kol.
Eignung:	geeignet	weniger geeignet
Wirkung anderer Faktoren:	+	

2. Unter der Annahme, daß Keime überwiegend als keimhaltige Kerne in der Luft vorliegen:

Aussageart: Luftkeimsammelgerät
(Beurteilungsschema wie unter 1.)

Aussageart:	Partikelzählgerät	Zellzählgerät
Ergebnis:	weniger Kol.	mehr Kol.
Eignung:	geeignet	geeignet
Wirkung anderer Faktoren:	?	?
Aussageart:	Partikelzählgerät	Zellzählgerät
Ergebnis:	mehr Kol.	weniger Kol.
Eignung:	geeignet	weniger geeignet
Wirkung anderer Faktoren:	+	

In der Literatur wird fast übereinstimmend die Meinung geteilt, daß Luftkeime überwiegend als keimhaltige Kerne in der Luft vorliegen und daß die Waschverfahren geeignet sind, die Keime von den Kernen zu lösen ('auszuwaschen'), so daß überwiegend isolierte Bakterienzellen zur Verimpfung gelangen. Im Gegensatz zu diesem Verfahren gilt das Slit-Sampler-Verfahren als Nachweismethode zur Sammlung keimhaltiger Kerne (ALBRECHT 1955, ANDERSEN 1958, LIDWELL und Mitarb. 1959, MAY 1964, WANNER und DEUBER 1969 u.a.).

Unter Berücksichtigung dieser Ansicht, die in der Literatur jedoch experimentell wenig belegt ist, würde eine Beurteilung der von mir benutzten, methodisch verschiedenen Verfahren u.a. davon abhängen, wie hoch

die tatsächlichen Wandverluste,
der Umfang der Überlagerungen,
der Umfang des 'Durchschlüpfens',
das Zertrümmerungsvermögen von Kernen,
der Koagulationseffekt und
die zellzerstörenden Effekte ('Absterberate')

bei beiden Verfahren sind.

Die Aussageart eines Luftkeimsammelgerätes kann sich - streng genommen - nur im Ergebnis 'Summe der gesammelten Keime' ausdrücken. Findet jedoch in einem Gerät eine Umwandlung der gesammelten Kerne durch Aufspaltung der einen Kern bildenden Teilchen statt, und zwar eine Aufspaltung aller Kerne, könnte man von einem Teilchenzählgerät sprechen und im Gegensatz zu Geräten, in denen eine solche Aufspaltung nicht stattfindet, von einem Kern- oder Partikelzählgerät. Bei nur unvollständiger oder nur einen Teil der Kerne betreffenden Spaltung oder im Falle neuer Zusammenlagerung von Teilchen kann die Aussageart des Gerätes im Hinblick auf ein zu erwartendes Ergebnis nur schwer formuliert werden.

In der Literatur sind m.W. keine experimentellen Befunde

bekannt, die den Beweis für die These liefern, daß die Waschverfahren in der Lage sind, alle in der Luft vorliegenden Bindungen der einen Kern bildenden Teilchen zu zerstören. Wenn es auch wahrscheinlich ist, daß durch den heftigen Aufprall der Luft aus der Kapillare auf den Geräteboden (so beim AGI-4 und AGI-30) und die anschließende Einleitung in das Waschwasser ein Teil der im Literaturteil A genannten Bindungen zwischen einzelnen Teilchen zerstört wird, so kann doch m.E. nicht daraus abgeleitet werden, daß a l l e keimhaltigen Kerne in ihre Teilchen zerfallen (LIDWELL und Mitarb. 1959, MAY 1967). GUNDERMANN 1969 bezweifelt überdies, daß wegen der fehlenden Benetzbarkeit kleinster Teilchen überhaupt eine vollständige Erfassung von Keimkernen im Wasser erreicht werden kann. PETRAS 1966/67 unterzog die mit dem Impinger-Verfahren gewonnenen suspendierten Mikroorganismen einem Reinigungsverfahren und konnte fluoreszenzmikroskopisch nachweisen, daß auch danach nicht alle Zellen von 'Schmutzpartikeln' abgelöst waren. Pro Partikel konnte er zwischen 20 und 50 Zellen auszählen.

Es wurde schon im Literaturteil angesprochen, daß es auffallend sei, daß in der Literatur nur von der Freisetzung von Keimen aus Kernen die Rede ist, dagegen die Möglichkeit einer erneuten Partikelzusammenlagerung durch den Waschvorgang selbst nicht in Betracht gezogen wird. Nach PIETSCH 1967 werden die im Literaturteil A genannten Bindungsmechanismen auch im Wasser wirksam. Nach JUNGE 1952 muß überdies auch ein Koagulationsbestreben der Hydrossole in Betracht gezogen werden.

Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß in den Impinger-Geräten zwei gegensätzliche Effekte wirksam werden:

- a) der eine in der Richtung der Aufspaltung von Kernen in ihre Teilchen und
- b) der andere in der Richtung des Koagulationsbestrebens der Teilchen zu neuen Bindungen.

Bei der Durchleitung kernreicher Luftproben durch die Waschflüssigkeit würden danach auf der einen Seite lockere Bindungen zwischen Teilchen gespalten, auf der anderen Seite aber auch neue Bindungen zwischen Teilchen eingegangen. Das in der Luft vorgelegene Größenspektrum der keimhaltigen Kerne würde sich dann verlagern. Das Ergebnis der Waschverfahren stellte dann aber weder die Zahl keimhaltiger Kerne dar, wie sie in der Luft vorlagen, noch das Ergebnis der isolierten Keimkerne. Die Aussageart der Waschverfahren wäre somit als Zahl zufällig entstandener Hydrossole zu bewerten.

Träfe diese Theorie zu, dann könnte die schlechtere Ausbeute von Waschverfahren unter Laborbedingungen (ALBRECHT 1957, ANDERSEN 1958) dahingehend erklärt werden, daß beim Vorliegen künstlicher Keimaerosole im Waschvorgang nur der Effekt der Koagulation, nicht aber der entgegengesetzte der Aufspaltung von Bindungen durch das Impingement wirksam werden kann.

Das Slit-Sampler-Verfahren wird in Übereinstimmung mit der Literatur als Gerät zur Erfassung keimhaltiger Kerne angesehen.

Für den Keimnachweis liegt der Nachteil dieses Verfahrens darin, daß völlig offen bleibt, wieviele Keimkerne an dem nachgewiesenen Kern haften. Ferner kann sowohl bei quantitativen als auch bei qualitativen Nachweisen nicht erwartet werden, eine sichere Aussage über langsamwachsende bzw. anspruchsvolle Keime zu erhalten, da sie von frohwüchsigen überlagert werden.

Zusammenfassend bestehen also erhebliche Einwände gegen einen Vergleich zwischen Geräten unterschiedlichen Nachweisprinzips. Bei Benutzung des Standard-Impingers sollte in diesem Zusammenhang besonders berücksichtigt werden:

a) die Möglichkeit der Lösung zahlreicher Bindungen

- zwischen Keimkernen und Kernen,
- b) die Möglichkeit, daß Aggregate usw. nicht gelöst wurden,
 - c) die Möglichkeit des Eingehens neuer Bindungen.

Bei möglicher Wechselwirkung zwischen den drei Punkten erscheint weder die Aussageart 'Partikelzählgerät' noch die Aussageart 'Zellzählgerät' möglich. Das Ergebnis stellt dann die Zahl keimhaltiger Hydrossole dar.

Für den ANDERSEN-Sampler ist in Betracht zu ziehen:

- a) die Schwierigkeit, bei hohen Koloniezahlen die wahre Anzahl keimhaltiger Kerne zu erfassen,
- b) die Unmöglichkeit, aufgrund der eigenen Abklatschuntersuchungen die wahre Anzahl der Wandverluste zu kalkulieren.

Es erscheint daher zweckmäßig, bei künftigen Vergleichen Geräte mit übereinstimmenden Wirkungsprinzipien zu benutzen.

3. Zur Größenverteilung keimhaltiger Kerne

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Vorversuche zeigte sich auch bei den Hauptversuchen, daß etwa 40% der keimhaltigen Kerne auf den Stufen 1 und 2 abgelagert werden. Diese Stufen sammeln nach ANDERSEN 1958 keimhaltige Kerne oberhalb 5µm Durchmesser und entsprechen der Filterwirksamkeit der Nase. Etwa 45% wurden auf den Stufen 3 und 4 abgelagert, die der Filterwirksamkeit der Trachea und des Bronchialbaumes entsprechen sollen. Auf diesen Stufen findet eine Sammlung von Kernen oberhalb 2µm Durchmesser statt, die restlichen 15% verteilten sich ungleichmäßig auf die Stufen 5 und 6, d.h. die Stufe 6 blieb i.d.R. keimfrei.

Aus Abb. 1 geht hervor, daß der Größenbereich der Bakterien im Bereich der Aitkenkerne und der großen Kerne liegt

und bis in den Bereich der Riesenkerne reicht. Als obere Grenze kann in Übereinstimmung mit den Angaben von WIESMANN 1969 für Bakterien eine Länge von $10\mu\text{m}$ angesetzt werden. Pilze, die in Abb. 1 nicht aufgeführt sind, aber die ebenfalls zum Nachweis kamen, haben nach WIESMANN 1969 ein weites Größenspektrum mit morphologisch sehr vielschichtigen Strukturen, die einen 'Durchmesser' zwischen 2 und $20\mu\text{m}$ aufweisen; als mittleren Durchmesser nennt er $10\mu\text{m}$.

Nach den Erfahrungen besonders von KNOCHE 1971 bei der Bestimmung der keimhaltigen Kerne und der Keimkerne in der Stallluft sind an der Mikroflora beteiligt:

- zu etwa 10-20% Pilze,
- zu etwa 40-60% Bazillen und
- zu etwa 20-40% nicht sporenbildende Bakterien.

Für isolierte Mikroorganismen dieser Art kann gemäß den oben genannten Angaben mindestens ein Durchmesserbereich zwischen 1,0 und $10\mu\text{m}$ angesetzt werden. Es können sich demnach auf allen Stufen des ANDERSEN-Samplers sowohl Keimkerne (= isolierte Mikroorganismen) als auch keimhaltige Kerne (= Mikroorganismen, die mit anderen Partikeln verbunden sind) niederschlagen.

Die Untersuchungsbefunde von MAY 1964 und LIDWELL und NOBLE 1965 stimmen dahingehend überein, daß der ANDERSEN-Sampler infolge seiner Konstruktion nur ganz unzureichend in der Lage sei, keimhaltige Kerne größer als $12\mu\text{m}$ auf die Nähragarplatten der Stufen 1 und 2 abzulagern. Da auch in den eigenen Untersuchungen hohe Wandverluste auf den beiden obersten Stufen festgestellt wurden, kann angenommen werden, daß die tatsächlich auf die Nähragarplatten der Stufen 1 und 2 gelangten keimhaltigen Riesenkerne nur einen Bruchteil der Kerne in dieser Größenordnung darstellen. Auf Abb. 16 ist ein Vergleich der im Durchschnitt aus je 14 Hauptversuchen mit und ohne kegelförmigen Deckel

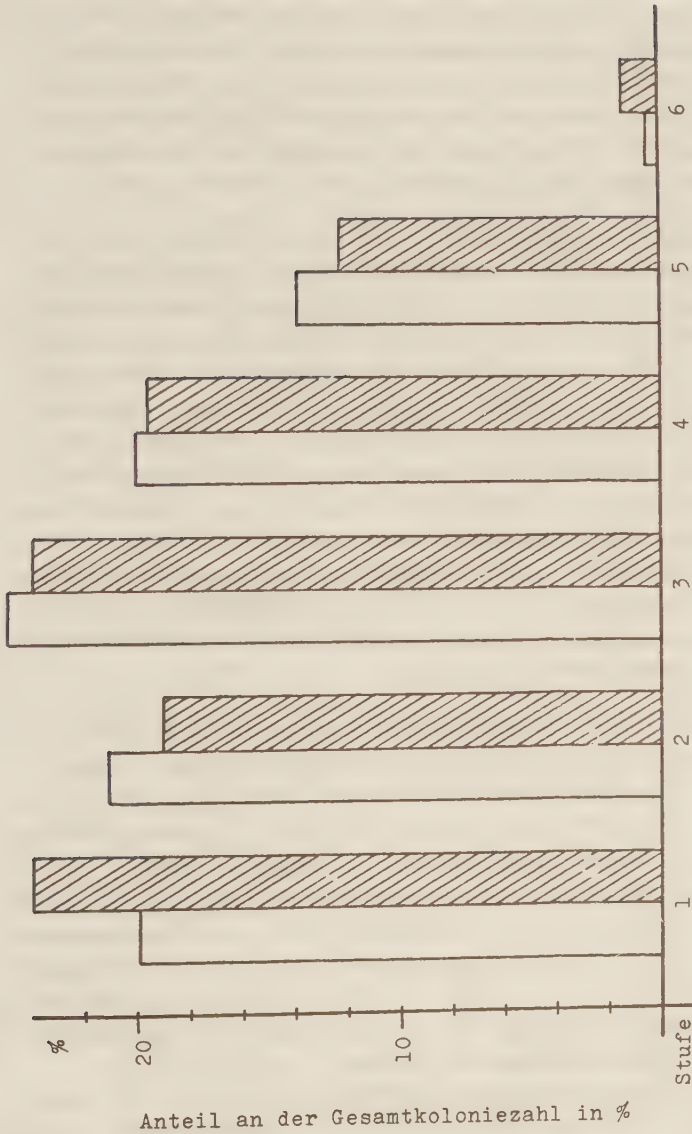


Abb. 16. Vergleich der im Durchschnitt aus je 14 Hauptversuchen mit und ohne kegelförmigen Deckel ermittelten prozentualen Verteilung der auf den 6 Stufen des ANDERSEN-Samplers ausgezählten und für die Stufen 3 bis 6 nach der Konversionstabelle umgerechneten Kolonien pro 1/Luft

ermittelten prozentualen Verteilung der auf den 6 Stufen des ANDERSEN-Samplers ausgezählten und für die Stufen 3 bis 6 nach der Konversionstabelle umgerechneten Kolonien dargestellt. Die wirkliche Größenverteilung dürfte sich daher bei Berücksichtigung der ermittelten Wandverluste erheblich zugunsten der Stufen 1 und 2 verschieben.

Wie im nächsten Abschnitt IV 4 zu besprechen sein wird, steht diese Aussage mit der allgemeinen Aussage des Größenverteilungsgesetzes in Übereinstimmung, wonach kleine Kerne besonders mit zunehmender Kerndichte ein großes Bestreben haben, sich an große Kerne anzulagern oder durch Koagulation am Wachstum der Kerne teilzunehmen. Im gewissen Gegensatz dazu leitet HILLIGER 1969 aus seinen Untersuchungen über den Staub- und Bakteriengehalt in einem Hühner- und einem Schweinestall ab, daß die größeren Staubpartikeln relativ keimärmer seien als die kleineren. Für Stallverhältnisse scheinen daher noch eingehende Untersuchungen notwendig zu sein, um die Zusammenhänge zwischen Mikroorganismen und Kernen und die dabei wirksamen Faktoren befriedigend zu klären.

Neben den genannten Wandverlusten nimmt auch die Benutzung bzw. Nichtbenutzung des kegelförmigen Deckels beim Betrieb des ANDERSEN-Samplers einen Einfluß auf den Nachweis der Kerngrößenverteilung. Wie Abb. 16 zeigt, erhöhte sich der Nachweisanteil auf der 1. Stufe im Mittel von 19,6% auf 23,9% beim Fehlen des Deckels, während bei allen übrigen Stufen der Nachweisanteil fällt. Die Einflußnahme des Deckels auf die Ablagerung der Kerne in der Peripherie der 1. Stufe wird aus Abb. 17 erkenntlich. Diese Beobachtungen stimmen mit MAY 1964 dahingehend überein, daß die Wirkung des kegelförmigen Deckels

- a) die Ablagerung keimhaltiger Kerne der 1. und 2. Stufe,
- b) eine Ablagerung der Kerne in der Peripherie der 1. Stufe erschwere.

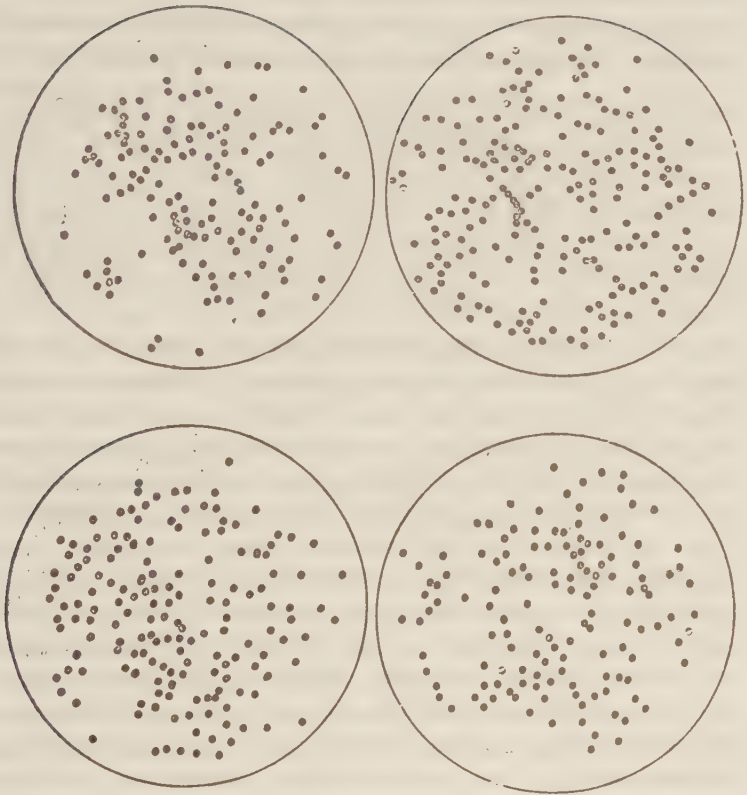


Abb. 17. Koloniemuster der Stufe 1 (oben links) und der Stufe 2 (unten links) eines Versuches mit dem ANDERSEN-Sampler mit seinem Deckel im Vergleich zum Koloniemuster der Stufe 1 (oben rechts) und der Stufe 2 (unten rechts) eines Versuches mit dem ANDERSEN-Sampler ohne seinen Deckel

Auf diesen Abbildungen ist auch der von MAY beschriebene Effekt der Interferenz deutlich, der auf verschiedenen Flächen der Nähragarplatten eine Ablagerung keimhaltiger Kerne verhindern soll. Dieser Effekt zeigt sich durch keimfreie Bezirke und keimfreie 'Straßen' (MAY 1964).

Der Einfluß des kegelförmigen Deckels auf die Gesamtnachweisleistung des ANDERSEN-Samplers ist in Übereinstimmung mit MAY 1964 in dem Sinne erkennbar, daß sich bei Nichtbenutzung des Deckels die Nachweisleistung im Mittel um 11,2% erhöht. Die Einzelvergleiche weisen jedoch eine sehr große Streuung auf, so daß eine Signifikanz für diesen Unterschied nicht errechnet werden konnte. Wesentliche Ursache für diese starke Streuung ist die durch die Messungen mit dem Standard-Impinger ermittelte Erfahrung, daß im Versuchsraum während der ca. 2 Stunden, die für jede vergleichende Probeentnahme erforderlich war, der Luftkeimgehalt sich bei 12 von 15 Wertepaaren in unterschiedlichem Grade verminderte. Als Extrem wurde beim Versuchspaar Nr. 19/20 ein Abfall auf 37% ermittelt, im Durchschnitt betrug die Nachweisleistung des 2. Versuchs beim Paarvergleich 86%. Die möglichen Ursachen für diesen Leistungsabfall werden in IV 4 besprochen. Da die Reihenfolge des Mit-Deckel- und des Ohne-Deckel-Versuchs regelmäßig gewechselt wurde, ist trotz der mangelnden Signifikanz mit einer Zunahme der Nachweisleistung um etwa 10% bei Nichtbenutzung des kegelförmigen Deckels zu rechnen. Dieser Befund liegt in der Nähe des Ergebnisses der Vorversuche, bei denen die Erhöhung der Nachweisleistung im Gegensatz zu den Versuchen mit Deckel bei Nichtbenutzung des Deckels etwa 6,4% betrug.

4. Die Übertragbarkeit des Größenverteilungsgesetzes von JUNGE auf Stallverhältnisse

Es wurde in der Einleitung hervorgehoben, daß zur Beurteilung von Methoden zur Untersuchung des Keimgehaltes der

Luft von Interesse sei, ob Luftkeime untereinander und mit anderen Partikeln in Verbindung stünden und ob solche Verbindungen mehr dem Zufall unterlägen als Gesetzmäßigkeiten. Lediglich beim Bestehen von Verbindungen besteht die Möglichkeit, daß beim Luftkeimnachweis unter Verwendung von Verfahren mit unterschiedlichen Wirkungsprinzipien auch unterschiedliche Aussagen, wie sie z.B. in dem oben unter IV 2 dargestellten Schema skizziert sind, erhalten werden. Außerdem ist die Frage der Verbindung zwischen den Kernen wegen des fraktionierten Rückhaltevermögens des Atemtrakts auch von erheblichem hygienischen und epidemiologischen Interesse.

Eine wesentliche Hilfe für das Verständnis von Vorkommen und Verhalten des Luftkeimgehaltes in Ställen würde es bedeuten, wenn die von JUNGE 1952a und b für Außenluft ermittelten Gesetzmäßigkeiten bei der Größenverteilung und bei der Entstehung und Vernichtung von Kernen auf Stallluftverhältnisse übertragen werden könnten.

Nach JUNGE 1952a gilt das Größenverteilungsgesetz nicht allein für das atmosphärische Aerosol. Auch in jedem abgeschlossenen Raum stelle die beobachtete Kernzahl eine Art dynamisches Gleichgewicht zwischen Kernentstehung (Heizung, Atmung von Personen, Zufuhr von außen) und Kernvernichtung (Sedimentation und Diffusion an Decke und Wände) dar. So sei es auch verständlich, daß in Wohnräumen je nach Bedingungen andere Kernzahlen zu finden seien als in der Außenluft bzw. in benachbarten Räumen, wobei Schwankungen allerdings meist parallel gingen.

Geht man davon aus, daß in einem Versuchstierstall bei gleichbleibender Keimquelle pro Zeiteinheit eine bestimmte Anzahl Keimkerne und keimhaltige Kerne in die Luft abgegeben wird, dann müßte der Luftkeimgehalt immer weiter ansteigen, wenn nicht entgegengerichtete Prozesse dieses Ansteigen verhindern. An den verschiedenen Tagen der

Hauptversuche wurde ein etwa gleichgroßer Luftkeimgehalt, der sich um 50 Kol/l Luft bewegte, festgestellt. Dieser Wert steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von HURTIENNE 1967, der in einem Mäusezuchtstall einen Keimgehalt zwischen 64 und 133 Kol/l Luft fand. Die gleichzeitig mit 3 KOCH'schen Absetzplatten ermittelte Koloniezahl betrug bei allen eigenen Versuchen durchschnittlich 92,8 Kol pro Nähragarplatte. Auf den Absetzplatten gelangen Kerne zum Nachweis, die nach JUNGE 1952a und GEORGII 1970 überwiegend oberhalb 12μ liegen. BUROW 1967 konnte in Ställen im Absetzverfahren Kerngrößen zwischen kleiner als 2μ und 35μ nachweisen.

Unter der Annahme, daß die Sedimentationsrate im ganzen Versuchsraum einheitlich ist, läßt sich aus der Fläche der Absetzplatten errechnen, in welcher Größenordnung die Gesamtsedimentation im Raum liegt. Sie beträgt

pro Minute 246.000 keimhaltige Riesenkerne und
pro Stunde 14.747.000 keimhaltige Riesenkerne.

Die tatsächliche Zahl der pro Zeiteinheit 'vernichteten' Kerne liegt vermutlich eher höher als tiefer, da die Sedimentation in Tischhöhe und nicht auf dem Raumfußboden ermittelt wurde und außerdem der Kernniederschlag an Wänden und Decke durch Diffusion nicht berücksichtigt worden ist. Bei einem Volumen des Versuchsraumes von $36,8\text{m}^3$ läßt sich errechnen, daß pro Liter Luft etwa 6 keimhaltige Riesenkerne in jeder Minute ausfallen. Das sind etwa 10% der Nachweismenge Kol/l Luft. Betrachtet man eine Zeitdauer von 10 Minuten, so sind der Ausfall durch Sedimentation - bezogen auf 1 Liter Luft - und die Zahl der Kol/l Luft wertgleich.

Wenn sich trotz dieses beträchtlichen Kernausfalls der Keimgehalt der Luft nicht wesentlich ändert, so ist zu vermuten, daß etwa gleichviele Keimkerne und keimhaltige Kerne aus den Keimquellen 'nachgeliefert' werden, wie

durch Sedimentation und Diffusion 'verlorengehen', d.h. auch zwischen 'Keimentstehung' in der Luft und Keimverlust durch Ausfall und Diffusion besteht ein gewisses Gleichgewicht. Wenn aber ein solches Gleichgewicht besteht, dann müssen auch die Keimkerne und keimhaltigen Kerne an der Verschiebung des Größenspektrums der Kerne mitwirken, d.h. sie verbinden sich durch Koagulation und Anlagerung mit anderen Kernen, bis sie schließlich im Schwerfeld ausfallen. Das aber würde bedeuten, daß die überwiegende Zahl der Keime Bestandteil von Mischkernen ist und somit als keimhaltige Kerne vorliegt. Diese Theorie steht in Übereinstimmung mit dem von JUNGE 1952a und b aufgestellten Größenverteilungsgesetz der Kerne und dem von ihm bewiesenen Mischkerncharakter der Kerne.

Ein solches Gleichgewicht zwischen Kernentstehung (= Keimentstehung) und Kernvernichtung (= Keimausfall) kann durch verschiedenste Faktoren gestört und auf verschiedenen Ebenen wieder einreguliert werden. Störungen sind insbesondere alle Vorgänge, die entweder eine zusätzliche starke Kern- bzw. Keimkernquelle darstellen oder die kernvernichtende Vorgänge der Koagulation, Diffusion und Sedimentation stark fördern, ohne gleichzeitig eine neue, zusätzliche Kern- bzw. Keimkernquelle zu sein.

Wegen dieser Überlegungen wurden auch die mit * gekennzeichneten Versuche 7 und 8 aus Tab. 5 aus den Gesamtberechnungen herausgenommen. An diesem Versuchstage waren die Meerschweinchen entgegen der sonst üblichen Fütterungszeit etwa 1 Stunde vor Versuchsbeginn gefüttert worden, was beim ersten Versuch Nr. 7 zu einer ungewöhnlich hohen Koloniezahl führte. Der etwa 45 Minuten später durchgeführte Versuch Nr. 8 erbrachte dagegen schon eine etwa um $\frac{2}{3}$ niedrigere Koloniezahl auf allen Stufen.

Der während der Hauptversuche beobachtete Effekt, daß jeder 2. Versuch eines Versuchstages eine geringere Aus-

beute erbrachte als der 1. Versuch, könnte dadurch erklärt werden, daß der durchgeführte, etwa 30 Minuten dauernde 1. Versuch das Kerngleichgewicht im Sinne der Förderung der kernvernichtenden Prozesse beeinflußt hatte. Bei weiteren Paralleluntersuchungen mit dem ANDERSEN-Sampler und dem Standard-Impinger, die z.T. nicht in Tab. 5 aufgeführt sind, konnte die Beobachtung gemacht werden, daß zwar der 2., kurz nach dem 1. an einem Vormittag durchgeführte Versuch eine geringere Ausbeute erbrachte als der 1. Versuch, daß aber nach einer Versuchspause von reichlich 2 Stunden der 3. Versuch am Nachmittag wieder der Ausbeute des 1. Versuches am Vormittag entsprach und der anschließende 4. Versuch dagegen wieder dem 2. Der Effekt der Abnahme der Koloniezahl beim 2. Versuch konnte unter gleichen Versuchsbedingungen während der Vorversuche nicht festgestellt werden. Das kann darauf zurückzuführen sein, daß sich für diese Versuche durch die alleinige Benutzung des ANDERSEN-Samplers die Versuchsdauer eines Versuches auf 1 Minute verkürzte und somit Vergleichsmessungen innerhalb von 10 Minuten durchgeführt werden konnten.

Die im Literaturteil beschriebenen Beobachtungen von KLIEWE und WASIELEWSKI 1952 und BUROW und HILLIGER 1969 können neben anderen Deutungen auch im Sinne des geschilderten dynamischen Gleichgewichtes und dessen Störung durch Förderung der Kernentstehung bzw. der kernvernichtenden Vorgänge erklärt werden.

Aufgrund dieser Darstellungen erscheint es mir sinnvoll möglich, das Größenverteilungsgesetz von JUNGE 1952a und b und die es bewirkenden Faktoren auch auf die Kerne und Keimkerne in Tierstallungen zu übertragen. Es erscheint jedoch notwendig, diese Theorie durch weitere Untersuchungen experimentell detailliert zu prüfen.

5. Die Funktionstüchtigkeit und Leistungsfähigkeit des
ANDERSEN-Samplers unter Stallbedingungen

Die bei der Planung der vorgelegten Untersuchungen gestellte Frage nach der Funktionstüchtigkeit und Leistungsfähigkeit des ANDERSEN-Samplers unter Stallbedingungen kann aufgrund der eigenen Befunde folgendermaßen beantwortet werden:

Hinsichtlich der A r t seiner A u s s a g e und hinsichtlich seiner L e i s t u n g

- a) vermag der ANDERSEN-Sampler Luftkeime in ihrem natürlichen Verband mit Kernen nachzuweisen, während das Ergebnis des Standard-Impingers als Zahl zufällig entstandener keimhaltiger Hydrossole gewertet werden muß.
- b) Der mit dem ANDERSEN-Sampler angestrebte Fraktionierungseffekt war stets in quantitativ befriedigender Stufung nachweisbar. Eine Bewertung des Umfangs der ermittelten Größenfraktionen ist aufgrund der eigenen Versuche nicht möglich.
- c) Der ANDERSEN-Sampler erwies sich auch unter der hohen Belastung mit Stallluft als sicher keimdicht, d.h. in der den ANDERSEN-Sampler verlassenden Luft lassen sich Mikroorganismen nicht nachweisen.
- d) Im ANDERSEN-Sampler wird regelmäßig ein beachtlicher Keimanteil nicht auf den Nähragarplatten, sondern an den inneren Metalloberflächen des Gerätes abgeschieden. Nach den eigenen Befunden erreichen diese 'Wandverluste' etwa 50% der Koloniezahl, die auf den Nähragarplatten zur Auszählung gelangen. Dieses Ergebnis bestätigt in der Tendenz die Angaben von MAY 1964.
- e) Ebenfalls in Übereinstimmung mit MAY konnte festgestellt werden, daß sich die Nachweisleistung des ANDERSEN-Samplers um etwa 10% verbessert, wenn er o h n e seinen kegelförmigen Deckel betrieben wird.
- f) ANDERSEN-Sampler und Standard-Impinger zeigen beim Nachweis der Kolonien pro Liter Luft gleichsinnige Verände-

rungen im Keimgehalt der Stallluft an.

- g) Beim quantitativen Vergleich mit dem Standard-Impinger weist der ANDERSEN-Sampler im Mittel von 28 Vergleichen nur 37,3% der mit dem Standard-Impinger nachgewiesenen Koloniezahl pro Liter Luft nach. Die Vergleichbarkeit von Ergebnissen dieser beiden Geräte ist jedoch wegen ihrer unterschiedlichen Abscheideprinzipien nur bedingt gegeben.

Zur Technik des Umganges mit dem ANDERSEN-Sampler können als v o r t e i l h a f t folgende Punkte herausgestellt werden:

- a) Die Versuchsvorbereitung ist einfacher als beim Standard-Impinger.
- b) Der Versuchsaufbau ist technisch einfach und übersichtlich.
- c) Der Versuchsaufbau ist frei von wichtigen bruchgefährdeten Glasteilen.
- d) Die Kulturanlage erfordert keine labormäßige Verarbeitung der entnommenen Proben.
- e) Bei Mehrfach-Versuchen in kurzen Zeitabständen ist eine Sterilisation des Gerätes durch Abflammen mit Spiritus befriedigend möglich.
- f) Der ANDERSEN-Sampler ist wenig empfindlich gegen Änderungen der Ansauggeschwindigkeit im Bereich von $\pm 20\%$ vom vorgeschriebenen Wert.
- g) Der ANDERSEN-Sampler ist wenig empfindlich gegen geringe Änderungen der Nährgarmenge pro Petrischale.
- h) Auch bei kleinen Luftansaugmengen (z.B. 10 l) scheint sich der Ein- und Ausstellfehler nicht wesentlich auf das Ergebnis des Samplers auszuwirken.

Als n a c h t e i l i g sind im Hinblick auf die Technik des Umganges mit dem ANDERSEN-Sampler folgende Punkte zu nennen:

- a) Es empfiehlt sich, regelmäßig eine Unterdruckkontrolle

am Luftausblasstutzen des ANDERSEN-Samplers durchzuführen, um Geräte-Undichtigkeiten sicher erkennen zu können.

- b) Es ist eine sorgfältige Anpassung der Luftansaugmenge an die Keimdichte in der Luft notwendig, um eine gute Auswertbarkeit sicherzustellen. Wird die mikroskopische Auswertmethode durchgeführt, so läßt sich ohne Nachteil auf das Ergebnis die erfaßbare Keimdichte wesentlich erhöhen.

Der Vorschlag von ANDERSEN 1958, bei keimreichen Luftproben dem ANDERSEN-Sampler ein Luftverdünnungssystem vorzuschalten, dürfte die Einfachheit des Verfahrens komplizieren. Bei Anwendung eines solchen Systems müßte die angesaugte Luft zuerst in ein Behältnis geleitet werden, in dem eine Durchmischung und Verdünnung stattfindet. Dagegen ist einzuwenden, daß nach JUNGE 1952a bei Durchführung von Luft durch Röhren o.ä. oder beim Einleiten in Behältnisse mit einem hohen Verlust an Kernen infolge Diffusion an deren Wände gerechnet werden muß.

- c) Der Anteil der nicht bewertbaren Proben steigt, je stärker die Keimgehalte der zu untersuchenden Luft schwanken.
- d) Strömungstechnisch scheint das Gerät nicht optimal gestaltet zu sein, da sich einerseits auf den beiden oberen Nähragarplatten nur selten gleichmäßige Verteilungen ergeben, und andererseits sehr hohe Wandverluste ermittelt werden konnten.

Allerdings muß die Frage offen bleiben, ob die 1971 auf dem Markt erschienenen verbesserten Modelle des ANDERSEN-Samplers diesen Nachteil verringert haben.

Der Einsatz des technisch leicht zu handhabenden ANDERSEN-Samplers unter Stallbedingungen kann bei diesen Gegebenheiten empfohlen werden, wenn ein besonderes Interesse besteht

- a) an der mikrobiologischen Untersuchung der Keimkerne in ihrem natürlichen Verband,
- b) an der Untersuchung der Größenstruktur der Keimkerne und der keimhaltigen Kerne.

Weniger geeignet scheint der ANDERSEN-Sampler zum quantitativen und qualitativen Nachweis der e i n z e l n e n Mikroorganismen zu sein.

V. Zusammenfassung

1. An dem Modell eines Meerschweinchenstalles wurde das Luftkeim-Sammelgerät nach ANDERSEN 1958 (ANDERSEN-Sampler) auf seine Eignung für einen Einsatz in Nutztierställen geprüft.
2. Es wird der Vorschlag gemacht, statt der Vielzahl der auch verschieden interpretierten Bezeichnungen für die korpuskulären Bestandteile der Luft in Zusammenhang mit Luftkeimen künftig die Begriffe 'keimhaltige Kerne' und 'Keimkerne' zu benutzen.
3. Der ANDERSEN-Sampler erwies sich mit nachgeschaltetem Membranfilter bei einer Koloniezahl zwischen 15,8 und 143,4 pro Liter Luft auch unter Stallverhältnissen als bakteriendicht.
4. Gegenüber dem Standard-Impinger betrug die Nachweisleistung des ANDERSEN-Samplers bei Benutzung gemäß Gebrauchsanweisung bei 28 Vergleichen im Durchschnitt nur 37,3%.
5. Beim Einzelvergleich ist die Nachweisleistung von der Koloniedichte abhängig. Bleibt die Koloniezahl unter 150 pro Nähragarplatte, so steigt die Ausbeute auf 60% und mehr; erreicht die Koloniezahl 300 und mehr pro Nähragarplatte, so sinkt die am Standard-Impinger gemessene Ausbeute unter 30%.
6. Beim Luftdurchgang durch den ANDERSEN-Sampler wird etwa ein Drittel der keimhaltigen Kerne und Keimkerne nicht auf den Nähragarplatten, sondern auf den inneren Metalloberflächen des Gerätes als 'Wandverluste' abgeschieden.
7. Auf den 6 Stufen des ANDERSEN-Samplers ließen sich im Durchschnitt auf den beiden ersten Stufen zusammen 40,8%, auf den beiden mittleren Stufen zusammen 44,9% und auf den beiden unteren Stufen zusammen 14,3% der Gesamtkoloniezahl nachweisen.

8. Im benutzten Stall fallen pro Quadratmeter Grundfläche in jeder Minute etwa 15.000 keimhaltige Kerne und Keimkerne durch Sedimentation aus.
9. Rechnerisch entspricht etwa die in 10 Minuten aus 1 Liter Raumluft sedimentierende Zahl keimhaltiger Kerne und Keimkerne der Zahl, die als Zahl der keimhaltigen Kerne und Keimkerne pro Liter Luft als schwebend nachgewiesen wurde.
10. Auf der Grundlage der eigenen Befunde wird die Theorie vertreten, daß die von JUNGE formulierten Gesetzmäßigkeiten bei Kernen in der Luft hinsichtlich Größenverteilung, Kernentstehung und Kernvernichtung auch für Kerne in der Stallluft Gültigkeit haben. Gemäß den JUNGE'schen Gesetzmäßigkeiten ist daher auch in der Stallluft der Luftkeimgehalt nicht statisch, sondern dynamisch als Gleichgewichtszustand zwischen Kernentstehung und Kernvernichtung anzusehen.

Experience with the ANDERSEN-sampler investigating viable airborne particles in an experimental animal house

VI. L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

ALBRECHT, J.

Zur quantitativen Bestimmung von Luftkeimen
Arch. Hyg. 139, 109-116 (1955)

ALBRECHT, J.

Der Nachweis von Bakterienaerosolen
Zschr. Aerosol-Forsch. 4, 297-304 (1955)

ALBRECHT, J.

Zur Abscheidung von Mikroorganismen aus der Luft
Zbl. Bakt. I. Orig. 164, 300-302 (1955)

ALBRECHT, J.

Die Verwendung von Membranfiltern zum Nachweis
von Luftkeimen
Arch. Hyg. 141, 210-216 (1957)

ALBRECHT, J.

Methoden zum Nachweis von Mikroorganismen in
Aerosolform
Zschr. Aerosol-Forsch. 7, 50-61 (1958)

ANDERSEN, A.A.

New sampler for the collection, sizing, and
enumeration of viable airborne particles
J. Bact. 76, 471-484 (1958)

ANDERSON, J.D. u. C.S. COX

Microbial survival
in: Airborne microbes
Univ. Press, Cambridge (1967). S. 203-226

BÁRTA, O.

Ein Beitrag zur Verstaubung in den Ställen für
Milchkühe (tschech.)
Veterinářství 8, 289-291 (1958)

BRACHMAN, P.S. u. Mitarb.

Standard samplers for assay of airborne
microorganism

Science 144, 1295 (1964)

BUROW, H.

Vergleichender Einsatz von einfachen Staubsammel-
geräten in Ställen und Auswertung der Staubproben
nach Partikelzahl und Partikelgröße

Vet. med. Diss. Berlin FU (1967)

BUROW, H. u. H.G. HILLIGER

Vergleich des Bakterien- und Staubgehaltes der
Stallluft im Absetzverfahren

Tierärztl. Umschau 24, 155-158 (1969)

CAVALLI-SFORZA, L.

Biometrie. Grundzüge biologisch-medizinischer
Statistik

Fischer, Stuttgart (1969)

EFFENBERGER, E.

Das Staubproblem in der Meteorologie und in der
Hygiene

Ber. Dtsch. Wetterd. US-Zone 5/35, 253-257 (1952)

FLACH, E.

Grundbegriffe und Grundtatsachen der Bioklimatologie
in: Linkes Meteorologisches Taschenbuch. Neue Ausg.
Bd. 3. Leipzig (1957). S. 178-268

GEORGII, H.W.

Das natürliche Aerosol in reiner und verunreinigter
Luft

Schr.-Reihe Ver. Wass.-Boden-Lufthyg. Berlin-Dahlem,
H. 30, 13-18 (1970)

GUNDERMANN, K.O.

Krankenhaushygiene und infektiöser Hospitalismus
Med. Habil.-Schrift Kiel (1969)

HAFERKORN, R., K.E. SCHNEWEIS u. H. BRANDIS

Vergleichende Untersuchungen über Nachweisverfahren
von Bakteriophagen aus Aerosolen sowie über das
Rückhaltevermögen von Filtern und Impingern für
Bakteriophagenaerosole

Arch. Hyg. 152, 97-106 (1968)

HILLIGER, H.G.

Die Eignung des CASELLA-Schlitzsammlers für den
Bakteriennachweis in Stallluft

Gesd.-Ing. 90, 51-53 (1969)

HILLIGER, H.G.

Zusammenhänge zwischen Staub und Bakteriengehalt
der Stallluft

Wien. tierärztl. Mschr. 56, 148-150 (1969)

HOFFMANN, H. u. W. RICHTER

Der Keimgehalt der Luft - ein beachtenswerter Klima-
faktor in Schweinemastställen beim Einsatz von
staubförmigem Trockenfutter

Mhefte Vet. med. 19, 567-573 (1964)

HURTIIENNE, H.

Vergleiche zwischen mehreren Verfahren zur Bestim-
mung des Keimgehaltes der Stallluft unter verschie-
denen Bedingungen

Vet. med. Diss. Berlin FU (1967)

ISRAEL, H. u. H. DOLEZALEK

Luftelektrizität, Meßmethoden und Geräte

in: Linkes Meteorologisches Taschenbuch. Neue Ausg.
Bd. 3. Leipzig (1957). S. 118

JACOBSON, A.R.

Viable particles in the air

in: Air pollution. Hrsg. A.C. Stern. 2. Aufl.
Bd. 1. Acad. Press, New York-London (1968).
S. 95-119

JUNGE, Ch.

Das Wachstum der Kondensationskerne mit der relativen Feuchtigkeit

Ann. Meteor. 3, 129-135 (1950)

JUNGE, Ch.

Die Konstitution des atmosphärischen Aerosols

Ann. Meteor. 5, Beih. S. 1-55 (1952a)

JUNGE, Ch.

Gesetzmäßigkeiten in der Größenverteilung atmosphärischer Aerosole über dem Kontinent

Ber. Dtsch. Wetterd. US-Zone 5/35, 261-277 (1952b)

KANZ, E.

Bakteriologische Nährböden in Kunststofftaschen, eine neue Verpackungs- und Anwendungsform

Pharmaz. Industrie 24, 556-561 (1962)

KANZ, E.

"Abklatsch"-Untersuchungen über die Keimverbreitung Medizinal-Markt 12, 98-99 (1964)

KANZ, E.

Luft- und Staubkeime als Problem der Arbeitsräume

Beispiele angewandter Forschung 1966/67

Jahrbuch der Fraunhofer Ges., München. S. 54-63 (1967)

KANZ, E. u. Ursula KAUTE

Hygienisch-bakteriologische Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Heißlufttrocknern

Gesd.wes. Desinfekt. 60, 1-9 (1968)

KEMPMANN, Marianne

Vergleichende Untersuchungen zur Luftkeimgehaltsbestimmung mit dem Standard-Impinger-Verfahren und dem Gelatinefilter-Verfahren in einem Legehennenstall

Vet. med. Diss. Berlin FU (1970)

KLIEWE, H. u. E. v. WASIELEWSKI

Physikalische Eigenschaften von keimtötenden
Aerosolen und künstlichen Keimnebeln

Zschr. Hyg. 134, 1-23 (1952)

KNOCHE, Jutta

Untersuchungen zur Bewertung der Leistungsfähigkeit
des Standard-Impingers nach BRACHMAN u. Mitarb. zum
Nachweis von Luftkeimen im Stall

Vet. med. Diss. Berlin FU (1971)

KOTULA, A.W. u. J.A. KINNER

Airborne microorganisms in broiler processing plants

Appl. Microbiol. 12, 179-184 (1964)

LANDAHL, H.D. u. T.N. TRACEWELL

Penetration of air-borne particulates through the
human nose (II).

J. Ind. Hyg. Toxic. 31, 55 (1949)

Zit. nach NÜCKEL, H. 1962

LIDWELL, O.M. u. W.C. NOBLE

A modification of the Andersen sampler for use
in occupied environments

J. Appl. Bact. 28, 280-282 (1965)

LIDWELL, O.M., W.C. NOBLE u. G.W. DOLPHIN

The use of radiation to estimate the numbers of
micro-organisms in air-borne particles

J. Hyg. 57, 299-308 (1959)

LUDLAM, F.H.

The circulation of air, water and particles in
the troposphere

in: Airborne microbes

Univ. Press, Cambridge (1967). S. 1-17

MAJEWSKI, T.

The effect of some physical and biological air conditions in the cow barn on the degree of bacteriological milk contamination (poln.)

Roczniki Nauk rolnizysch. Ser. B, 89, 253-273 (1966)

MAUNZ, Ursula u. E. KANZ

Beiträge zur quantitativen Auswertung von Abklatschkulturen

Gesd. wes. Desinfekt. 61, 129-142 (1969)

MAY, K.R.

Calibration of a modified Andersen bacterial aerosol sampler

Appl. Microbiol. 12, 37-43 (1964)

MAY, K.R.

Physical aspects of sampling airborne microbes

in: Airborne microbes

Univ. Press, Cambridge (1967). S. 60-80

NIX, N.

Die Kondensation und Verdampfung an Einzelteilchen von Kleinaerosolen

Staub 29, 188-191 (1969)

NOBLE, W.C.

Sampling airborne microbes - Handling the catch

in: Airborne microbes

Univ. Press, Cambridge (1967). S. 81-101

NÜCKEL, H.

Der menschliche Atemtrakt als Aerosolfilter

Zbl. biol. Aerosol-Forsch. 10, 207-235 (1962)

PAPETTI, R.A. u. F.R. GILMORE

Luftverschmutzung

Endeavour 30, 107-114 (1971)

PECHERT, H.

Untersuchungen über den Staubgehalt in verschiedenen
Rinder- und Schweineställen
Landw. Diss. Jena (1957)

PETRAS, E.

Zur Isolierung von Luftkeimen mittels feinporiger
Filter
Arch. Mikrobiol. 55, 93-109 (1966)

PETRAS, E.

Zum Problem der Bestimmung des Gesamtkeimgehalts
der Luft
Beispiele angewandter Forschung 1966/67
Jahrbuch der Fraunhofer Ges., München. S. 64-68
(1967)

PIETSCH, W.

Das Agglomerationsverhalten feiner Teilchen
Staub 27, 20-33 (1967)

PSCHYREMBEL, W.

Klinisches Wörterbuch. 154.-184. Aufl.
De Gruyter, Berlin (1964)

REIFFERSCHIED, H.

Zum Keimgehalt der Luft
Ann. Meteor. 5, 363-367 (1952)

REIFFERSCHIED, H.

Das atmosphärische Aerosol: "Luftchemischer Wirkungs-
komplex"
in: Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde. XIV, 2c.
Schattauer, Stuttgart (1957). S. 549-577

REIFFERSCHIED, H.

Der biologische Anteil des Aerosols und seine meß-
technische Erfassung
Ber. Dtsch. Wetterd. 12/91, 92-95 (1963)

REITER, R. u. K. PÖTZL

Aufbau und Anwendungsmöglichkeit eines Atemtraktmodells

Staub 27, 272-277 (1967)

SCHIFF, W. u. R. FONROBERT

Zur Problematik quantitativer Luftkeimgehaltsbestimmungen

Vortrag gehalten am 6.10.70 auf dem 17. Internat. Hygiene-Kolloquium der Goldschmidt AG in Essen

SCHMIDT, H.L.

Bemerkungen zur Vereinheitlichung der Keimzählung bei der Untersuchung von Futtermitteln

Landw. Forsch. 16, 51-64 (1963)

SCHÖNHERR, W.

Untersuchungen über den Keim- und Staubgehalt der Luft in Massivbauställen und beim Weidemelken

Milchwiss. 14, 50-56 (1959)

SINGH, R.P.

Microbiological survey of poultry houses and hatcheries - The isolation, characterization and pathogenicity of the more commonly found bacteria

Diss. Minnesota (1964)

Ref. in: Diss. Abstr. 25, 1496-1497 (1964)

TYLER, M.E. u. E.L. SHIPE

Bacterial aerosol samplers

1. Development and evaluation of the all-glass-impinger

Appl. Microbiol. 7, 337-349 (1959)

UHLIG, W.

Die Bestimmung des Keimgehaltes der Luft

Wiss. Zeitschrift Humboldt-Univ. Berlin

Math.-nat. R. 3, 487-501 (1953/54)

WANNER, H.U.

Untersuchungen über den Keimgehalt in der Luft
von pharmazeutischen Laboratorien

Pharmaceut. acta Helvet. 44, 517-534 (1969)

WANNER, H.U.

Untersuchungen über den Keimgehalt in der Luft
von Operationssälen

Zbl. Bakt. I. Orig. 212, 354-356 (1970)

WANNER, H.U. u. A. DEUBER

Methodische Untersuchungen zum Nachweis von
Bakterien in der Luft

Arch. Hyg. 153, 316-325 (1969)

WEICKMANN, I.

Diskussionsbemerkung zu JUNGE, Ch.

Gesetzmäßigkeiten in der Größenverteilung
atmosphärischer Aerosole über dem Kontinent

Ber. Dtsch. Wetterd. US-Zone 5/35, 261-277 (1952b)

WELLS, W.F.

Airborne contagion and air hygiene

Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. (1955)

WERNERY, U.

Einfluß der Schüttelart, Schüttelzeit und Absetz-
zeit auf die Zahl der nachweisbaren Keime bei der
mikrobiologischen Untersuchung von Mischfuttermitteln

Vet. med. Diss. Berlin FU (1971)

WHYTLAW-GRAY, R. u. H.S. PATTERSON

Smoke: A study of aerial disperse systems
London, 57-72 (1932)

Zit. nach JUNGE, Ch. 1952a

WIESMANN, E.

Medizinische Mikrobiologie

Thieme, Stuttgart (1969)

WINDISCH, S.

Möglichkeiten und Grenzen der quantitativen mikrobiologischen Luftanalyse mit dem Impinger von BRONN
Zbl. Bakt. I. Orig. 198, 89-91 (1965)

WINDISCH, S.

Methoden, Leistungsfähigkeit und Beurteilung von mikrobiologischen Luftanalysen
Tagesztg. Brauerei 18, 96-104 (1965)

ZETKIN, M., E.-H. KÜHTZ u. K. FICHTEL

Wörterbuch der Medizin. 2. Aufl.

VEB Volk u. Gesundheit, Berlin (1964)

Herrn Prof. Dr. H.G. Hilliger möchte ich ganz herzlich für die Überlassung der Arbeit, für seine vielen Anregungen und Unterstützungen bei der Planung und Durchführung meiner Versuche und bei der Abfassung dieser Dissertation danken.

Mein Dank gilt besonders auch Herrn Prof. Dr. H. Hartwig und den Mitarbeitern des Institutes für ihren Rat und ihre großzügige Hilfe.

L e b e n s l a u f

13.8.1938	geboren als Sohn des Ernst Hilbig und seiner Ehefrau Gertrud, geb. Dombrowsky, in Waldenburg,
1961	Abitur,
1961 bis 1965	Studium der Philosophie und Philo- logie an der Universität Hamburg und der Freien Universität Berlin,
1965 bis 1971	Studium der Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin,
1968	Physikum,
4.5.1971	III. Abschnitt der Tierärztlichen Prüfung,
18.5.1971	Bestallung als Tierarzt,
seit Mai 1971	Assistent am Institut für Veterinär- Hygiene der Freien Universität Berlin.

Verzeichnis

Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1890-1895
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1896-1900
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1901-1905
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1906-1910
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1911-1915
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1916-1920
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1921-1925
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1926-1930
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1931-1935
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1936-1940
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1941-1945
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1946-1950
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1951-1955
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1956-1960
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1961-1965
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1966-1970
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1971-1975
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1976-1980
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1981-1985
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1986-1990
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1991-1995
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	1996-2000
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2001-2005
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2006-2010
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2011-2015
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2016-2020
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2021-2025
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2026-2030
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2031-2035
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2036-2040
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2041-2045
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2046-2050
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2051-2055
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2056-2060
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2061-2065
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2066-2070
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2071-2075
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2076-2080
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2081-2085
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2086-2090
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2091-2095
Verzeichnis der Werke des Herrn Hilke	2096-2100

